

DATE OF DEPOSIT 1/11/04Our File No. 9281-4209
Client Reference No. N US00114

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of:)
Naoya Hasegawa et al.)
Serial No. To Be Assigned)
Filing Date: Herewith)
For: Magnetic Sensing Element with Improved)
Sensitivity and Method for Making the Same)

1/3
J.G.
J-F-02

SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIORITY DOCUMENT

Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

Dear Sir:

Transmitted herewith is a certified copy of priority document Japanese Patent Application Nos. 2000-390815 filed December 22, 2000, 2000-390849 filed December 22, 2000, 2001-125605 filed April 24, 2001, and 2001-125631 filed April 24, 2001 for the above-named U.S. application.

Respectfully submitted,



Gustavo Siller, Jr.
Registration No. 32,304
Attorney for Applicants

BRINKS HOFER GILSON & LIONE
P.O. BOX 10395
CHICAGO, ILLINOIS 60610
(312) 321-4200

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

JCP58 U.S. PRO
10/017301
12/14/01


別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2000年12月22日

出願番号

Application Number:

特願2000-390815

出願人

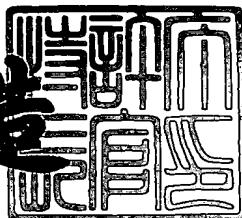
Applicant(s):

アルプス電気株式会社

2001年 9月20日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3086757

【書類名】 特許願

【整理番号】 001204AL

【提出日】 平成12年12月22日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G11B 5/39

【発明の名称】 磁気検出素子

【請求項の数】 12

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内

【氏名】 長谷川 直也

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内

【氏名】 梅津 英治

【特許出願人】

【識別番号】 000010098

【氏名又は名称】 アルプス電気株式会社

【代表者】 片岡 政隆

【代理人】

【識別番号】 100085453

【弁理士】

【氏名又は名称】 野▲崎▼ 照夫

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 041070

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

特2000-390815

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 磁気検出素子

【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の反強磁性層と、この第1の反強磁性層によって磁化方向が固定された固定磁性層、非磁性材料層、及び外部磁界により磁化方向が変化するフリー磁性層、非磁性中間層、強磁性層及び第2の反強磁性層を有する多層膜を有し、

前記多層膜には、前記第2の反強磁性層及び前記強磁性層を貫通し、底面が前記非磁性中間層内に設けられ、この底面のトラック幅方向の幅寸法がトラック幅寸法に等しい凹部が形成されており、

前記第2の反強磁性層との磁気的結合により磁化方向が揃えられた、前記強磁性層との磁気的結合により、前記フリー磁性層の磁化方向が前記固定磁性層の磁化方向と交叉する方向へ向けられていることを特徴とする磁気検出素子。

【請求項2】 前記非磁性中間層は、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種あるいは2種以上の合金で形成されている請求項1に記載の磁気検出素子。

【請求項3】 前記凹部の側面はトラック幅方向に対する垂直面となる請求項1または2に記載の磁気検出素子。

【請求項4】 前記強磁性層と前記第2の反強磁性層の間に、非磁性層が形成されている請求項1ないし3のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項5】 前記非磁性層がRu、Cu、Ag、Auのうち1種または2種以上の元素を用いて形成されている請求項4に記載の磁気検出素子。

【請求項6】 前記非磁性層がRuによって形成され、膜厚が8～11Åである請求項5に記載の磁気検出素子。

【請求項7】 前記第2の反強磁性層の下層に、他の反強磁性層が形成されている請求項1ないし6のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項8】 前記他の反強磁性層の厚さが0より大きく30Å以下である請求項7に記載の磁気検出素子。

【請求項9】 前記固定磁性層は、単位面積あたりの磁気モーメントの大き

さが異なる複数の強磁性材料層が、非磁性中間層を介して積層され、前記非磁性中間層を介して隣接する前記強磁性材料層の磁化方向が反平行となるフェリ磁性状態である請求項1ないし8のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項10】 前記非磁性中間層は、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種あるいは2種以上の合金で形成されている請求項9に記載の磁気検出素子。

【請求項11】 前記第1の反強磁性層と前記第2の反強磁性層が、同じ組成の反強磁性材料を用いて形成されている請求項1ないし10のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項12】 前記第1の反強磁性層及び／又は前記第2の反強磁性層は、PtMn合金、または、X-Mn（ただしXは、Pd、Ir、Rh、Ru、Os、Ni、Feのいずれか1種または2種以上の元素である）合金で、あるいはPt-Mn-X'（ただしX'は、Pd、Ir、Rh、Ru、Au、Ag、Os、Cr、Ni、Ar、Ne、Xe、Krのいずれか1種または2種以上の元素である）合金で形成される請求項1ないし11のいずれかに記載の磁気検出素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、主に、磁気センサやハードディスクなどに用いられる磁気検出素子に係り、特に磁界検出能力を向上させることができる磁気検出素子に関する。

【0002】

【従来の技術】

図10は、従来の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面から見た断面図である。

【0003】

図10に示す磁気検出素子は、巨大磁気抵抗効果を利用したGMR (giant magnetoresistive) 素子の1種であるスピナルブ型磁気検出素子と呼ばれるものであり、ハードディスクなどの記録媒体からの記録磁界を検出するものである。

【0004】

このスピンドル型磁気検出素子は、下から基板8、反強磁性層1、固定磁性層（ピン（Pinned）磁性層）2、非磁性材料層3、フリー磁性層（Free）4で構成された多層膜9と、この多層膜9の上層に形成された一対の縦バイアス層6、6及びこの縦バイアス層6、6の上に形成された一対の電極層7、7とで構成されている。

【0005】

前記反強磁性層1及び縦バイアス層6、6にはFe-Mn（鉄-マンガン）合金膜やNi-Mn（ニッケル-マンガン）合金膜、固定磁性層2及びフリー磁性層4にはNi-Fe（ニッケル-鉄）合金膜、非磁性材料層3にはCu（銅）膜、また電極層8、8にはCr膜が一般的に使用される。

【0006】

図10に示すように、固定磁性層2の磁化は、反強磁性層1との交換異方性磁界によりY方向（記録媒体からの漏れ磁界方向；ハイト方向）に単磁区化され、フリー磁性層4の磁化は、前記縦バイアス層6、6からの交換異方性磁界の影響を受けてX方向に揃えられることが望ましい。

【0007】

すなわち固定磁性層2の磁化と、フリー磁性層4の磁化とが、直交することが望ましい。

【0008】

このスピンドル型磁気検出素子では、縦バイアス層6、6上に形成された電極層7、7から、フリー磁性層4、非磁性材料層3及び固定磁性層2に検出電流（センス電流）が与えられる。ハードディスクなどの記録媒体の走行方向はZ方向であり、記録媒体からの漏れ磁界がY方向に与えられると、フリー磁性層4の磁化がXからY方向へ向けて変化する。このフリー磁性層4内の磁化の方向の変動と、固定磁性層2の固定磁化方向との関係で電気抵抗が変化し（これを磁気抵抗効果という）、この電気抵抗値の変化に基づく電圧変化により、記録媒体からの漏れ磁界が検出される。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

図10のスピンドルブ型磁気検出素子を製造するときには、多層膜9を形成した後、図11に示すように多層膜9上にリフトオフ用のレジスト層Rを形成し、イオンビームスパッタ法などを用いて縦バイアス層6, 6、及び電極層7, 7を成膜する。レジスト層R上には、縦バイアス層6, 6と同じ組成の層6a, 6a及び電極層7, 7と同じ組成の層7a, 7aが形成される。

【0010】

レジスト層Rの両端部によって覆われている領域は、スパッタ粒子が積層されにくい。従って、レジスト層Rの両端部によって覆われている領域付近は、縦バイアス層6, 6及び電極層7, 7は膜厚が薄く形成され、図10及び図34に示されるように縦バイアス層6, 6及び電極層7, 7の膜厚方向寸法がトラック両脇部分S, Sにおいて減少する。

【0011】

このため、トラック両脇部分S, Sにおけるフリー磁性層4と縦バイアス層6, 6との交換結合の効果が減少してしまう。その結果、図10におけるフリー磁性層4のトラック両脇部分S, Sの磁化方向が、X方向に完全に固定されず、外部磁界が印加されたときに変化してしまう。

【0012】

特に、磁気記録媒体における記録密度を向上させるために、狭トラック化を図った場合、本来トラック幅Twの領域内で読み取るべき磁気記録トラックの情報だけでなく、隣接する磁気記録トラックの情報を、トラック両脇部分S, Sの領域において読み取ってしまうという、サイドリーディングが発生する可能性が生じるという問題があった。

【0013】

本発明は上記従来の課題を解決するためのものであり、サイドリーディングを抑えることのできる磁気検出素子を提供することを目的とする。

【0014】

【課題を解決するための手段】

本発明の磁気検出素子は、第1の反強磁性層と、この第1の反強磁性層によって磁化方向が固定された固定磁性層、非磁性材料層、及び外部磁界により磁化方

向が変化するフリー磁性層、非磁性中間層、強磁性層及び第2の反強磁性層を有する多層膜を有し、

前記多層膜には、前記第2の反強磁性層及び前記強磁性層を貫通し、底面が前記非磁性中間層内に設けられ、この底面のトラック幅方向の幅寸法がトラック幅寸法に等しい凹部が形成されており、

前記第2の反強磁性層との磁気的結合により磁化方向が揃えられた、前記強磁性層との磁気的結合により、前記フリー磁性層の磁化方向が前記固定磁性層の磁化方向と交叉する方向へ向けられていることを特徴とするものである。

【0015】

本発明の磁気検出素子では、前記第2の反強磁性層が前記凹部の底面以外のすべての領域で反強磁性を発揮するために十分な膜厚を有するようにできる。そして、トラック幅が前記凹部の底面のトラック幅方向の幅寸法によって決定される。すなわち、前記凹部の底面に重なる部分でのみ、前記フリー磁性層などの外部磁界によって磁化方向が変化するフリー磁性層の磁化方向を変化させることができる。

【0016】

また、前記多層膜の形成時に設定されたトラック幅（光学的トラック幅） T_w の領域が、実質的に記録磁界の再生に寄与し、磁気抵抗効果を発揮する感度領域となる。すなわち、本発明の磁気検出素子は、磁気検出素子の光学的トラック幅が磁気的トラック幅に等しくなり、不感領域が生じないので、高記録密度化に対応するために磁気検出素子の光学的トラック幅 T_w を小さくしていった場合の再生出力の低下を抑えることができる。

【0017】

しかも、前記凹部は、一様の厚さで成膜された前記第2の反強磁性層を、反応性イオンエッティング（R I E）やイオンミリングを用いて、トラック幅方向に対する垂直方向に削るだけで形成することができるので、正確な幅寸法で前記凹部を形成することが可能になる。すなわち、磁気検出素子のトラック幅を正確に規定できる。

【0018】

また、本発明では、前記凹部の底面が前記非磁性中間層内に位置しているので、前記第2の反強磁性層の下層にある強磁性層が、前記第2の反強磁性層との磁気的結合によって磁化方向がそろえられ、さらに、この強磁性層の下層に非磁性中間層を介して形成されたフリー磁性層の磁化方向が、前記強磁性層とのRKKY相互作用によって、前記固定磁性層の磁化方向と交叉する方向に揃えられる。すなわち、前記第2の反強磁性層の下層において前記強磁性層、前記非磁性中間層、及び前記フリー磁性層がシンセティックフェリ構造となっており、前記フリー磁性層の磁化方向を一定方向に揃えることが容易になっている。従って、前記第2の反強磁性層と前記強磁性層との交換結合磁界が比較的弱くても、前記フリー磁性層の磁化方向を確実に、前記固定磁性層の磁化方向と交叉する方向に揃えることが容易になる。

【0019】

なお、前記フリー磁性層と前記強磁性層の単位面積あたりの磁気モーメントの大きさは異なっている必要がある。前記フリー磁性層及び強磁性層の単位面積あたりの磁気モーメントの大きさは、前記強磁性材料層の飽和磁化 (M_s) と膜厚 (t) の積で表される。

【0020】

本発明では、前記非磁性中間層を、例えば、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種あるいは2種以上の合金で形成することができる。

【0021】

さらに、本発明では前記凹部の側面をトラック幅方向に対して垂直面となるようにすることが可能である。すなわち、トラック幅領域から外れた全領域において、第2の反強磁性層が反強磁性を発生するために充分な膜厚を確実に有することができ、トラック幅領域から外れた全領域において前記フリー磁性層の磁化方向を確実に固定することができる。

【0022】

従って、磁気検出素子のトラック幅領域でのみ前記フリー磁性層の磁化方向を動かし、トラック幅領域周辺におけるサイドリーディングを防止することができる。

【0023】

また、前記強磁性層と前記第2の反強磁性層の間に非磁性層が形成されていてもよい。このとき、前記強磁性層は、前記非磁性層を介した前記第2の反強磁性層とのRKKY結合により、その磁化方向が前記固定磁性層の磁化方向と交叉する方向へ向けられる。

【0024】

前記第2の反強磁性層とのRKKY相互作用によって前記強磁性層の磁化方向が揃えられるものは、前記第2の反強磁性層と前記強磁性層とが直に接しているものよりも交換結合力を強くすることができる。

【0025】

なお、前記非磁性層は、例えば、Ru, Cu, Ag, Auのうち1種または2種以上の元素を用いて形成することができる。特に、前記非磁性層がRuによって形成され、膜厚が8～11Åであることが好ましい。

【0026】

また本発明では、前記と前記第2の反強磁性層の下層に、他の反強磁性層が積層されていてもよい。

【0027】

前記他の反強磁性層は後に述べる本発明の磁気検出素子の製造方法において、前記第1の反強磁性層を磁場中熱処理するときに、前記他の反強磁性層の下層にある層が大気に触れて酸化することを防止する機能を有する。

【0028】

前記他の反強磁性層の領域の厚さは、0より大きく30Å以下であることが好ましい。

【0029】

本発明のように、前記フリー磁性層の上面に接して積層された前記非磁性中間層が導電性材料によって形成されていると、前記非磁性中間層をスピンドルタ一効果を有するバックド層(backed layer)として機能させることが可能になる。

【0030】

スピニバルブ型磁気検出素子にセンス電流を印加すると、伝導電子はおもに電気抵抗の小さい非磁性材料層付近を移動する。この伝導電子にはアップスピンとダウンスピンの2種類の電子が確率的に等量存在する。

【0031】

スピニバルブ型磁気検出素子の磁気抵抗変化率は、これらの2種類の伝導電子の平均自由行程の行程差に対して正の相関を示す。

【0032】

ダウンスピンの伝導電子については、印加される外部磁界の向きにかかわらず、非磁性材料層とフリー磁性層との界面で常に散乱され、フリー磁性層に移動する確率は低いまま維持され、その平均自由行程はアップスピンの伝導電子の平均自由行程に比べて短いままである。

【0033】

一方、アップスピンの伝導電子については、外部磁界によってフリー磁性層の磁化方向が固定磁性層の磁化方向と平行状態になったときに、非磁性材料層からフリー磁性層に移動する確率が高くなり、平均自由行程が長くなっている。これに対し、外部磁界によってフリー磁性層の磁化方向が固定磁性層の磁化方向に対して平行状態から変化するに従って、非磁性材料層とフリー磁性層との界面で散乱される確率が増加し、アップスピンの伝導電子の平均自由行程が短くなる。

【0034】

このように外部磁界の作用によって、アップスピンの伝導電子の平均自由行程がダウンスピンの伝導電子の平均自由行程に比べて大きく変化し、行程差が大きく変化する。すると、伝導電子全体の平均自由行程も大きく変化し、スピニバルブ型磁気検出素子の磁気抵抗変化率 ($\Delta R / R$) が大きくなる。

【0035】

ここで、フリー磁性層にバックド層が接続されると、フリー磁性層中を移動するアップスピンの伝導電子がバックド層内にまで移動することが可能になり、バックド層の膜厚に比例してアップスピンの伝導電子の平均自由行程をさらに伸ばすことができる。このため、いわゆるスピニフィルター効果を発現させることが可能となり、伝導電子の平均自由行程の行程差が大きくなって、スピニバルブ型

磁気検出素子の磁気抵抗変化率 ($\Delta R/R$) をより向上させることができる。

【0036】

本発明では、前記フリー磁性層の膜厚が $1.5 \sim 4.5 \text{ \AA}$ の範囲に設定されことが好ましい。

【0037】

スピニルフィルター効果によるアップスピンの伝導電子とダウンスピンの伝導電子の平均自由行程差の拡大はフリー磁性層の膜厚が比較的薄い場合により効果を発揮する。

【0038】

フリー磁性層の膜厚が 1.5 \AA より薄いと強磁性材料層として機能するように形成することが難しくなり充分な磁気抵抗効果を得ることができない。また、鏡面反射 (specular reflection) せずに通常の散乱 (diffusive scattering) をする伝導電子も存在するため、抵抗変化率が低下してしまうので好ましくない。

【0039】

また、フリー磁性層の膜厚が 4.5 \AA より厚いと前記非磁性中間層に到達する前に散乱されてしまうアップスピンの伝導電子が増加してスピニルフィルター効果によって抵抗変化率が変化する割合が減少するため好ましくない。

【0040】

また、前記固定磁性層は、単位面積あたりの磁気モーメントの大きさが異なる複数の強磁性材料層が、非磁性中間層を介して積層され、前記非磁性中間層を介して隣接する前記強磁性材料層の磁化方向が反平行となるフェリ磁性状態であることが好ましい。

【0041】

固定磁性層が非磁性中間層の上下に強磁性材料層が積層されたものとして形成されると、これら複数層の強磁性材料層が互いの磁化方向を固定しあい、全体として固定磁性層の磁化方向を一定方向に強力に固定することができる。すなわち、第2の反強磁性層と固定磁性層との交換結合磁界 H_{ex} を大きな値として得ることができる。

【0042】

また、固定磁性層の固定磁化による反磁界（双極子磁界）を、複数層の強磁性材料層の静磁界結合同士が相互に打ち消し合うことによりキャンセルできる。これにより、固定磁性層の固定磁化による反磁界（双極子磁界）からの、フリー磁性層の変動磁化への寄与を減少させることができる。

【0043】

従って、フリー磁性層の変動磁化の方向を所望の方向に補正することがより容易になり、アシンメトリーの小さい対称性の優れた磁気検出素子を得ることが可能になる。

【0044】

ここで、アシンメトリーとは、再生出力波形の非対称性の度合いを示すものであり、再生出力波形が与えられた場合、波形が対称であればアシンメトリーが小さくなる。従って、アシンメトリーが0に近づく程再生出力波形が対称性に優れていることになる。

【0045】

前記アシンメトリーは、フリー磁性層の変動磁化の方向と固定磁性層の固定磁化の方向とが直交しているときに0となる。アシンメトリーが大きくずれるとメディアからの情報の読み取りが正確にできなくなり、エラーの原因となる。このため、前記アシンメトリーが小さいものほど、再生信号処理の信頼性が向上することになり、スピナバルブ磁気検出素子として優れたものとなる。

【0046】

また、固定磁性層の固定磁化による反磁界（双極子磁界） H_d は、素子高さ方向において、その端部で大きく中央部で小さいという不均一な分布を持ち、フリー磁性層内における単磁区化が妨げられる場合があるが、固定磁性層を上記の積層構造とすることにより双極子磁界 H_d をほぼ $H_d = 0$ とすることができます、これによってフリー磁性層内に磁壁ができる磁化の不均一が発生しバルクハウゼンノイズなどが発生することを防止することができる。

【0047】

なお、前記強磁性材料層の単位面積あたりの磁気モーメントの大きさは、前記強磁性材料層の飽和磁化（ M_s ）と膜厚（ t ）の積で表される。

【0048】

前記非磁性中間層は、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種あるいは2種以上の合金で形成されることができる。

【0049】

なお、本発明では、前記第1の反強磁性層と前記第2の反強磁性層と同じ組成の反強磁性材料を用いて形成しても、前記第1の反強磁性層の磁化方向と前記第2の反強磁性層の磁化方向を直交させることができが容易に可能となり、外部磁界が印加されていない状態で、前記フリー磁性層と前記固定磁性層の磁化方向を直交させることができる。

【0050】

前記第1の反強磁性層及び／又は前記第2の反強磁性層は、PtMn合金により形成されていることが好ましい。または前記反強磁性層は、X-Mn（ただしXは、Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である）合金で、あるいはPt-Mn-X'（ただしX'は、Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Ag, Os, Cr, Ni, Ar, Ne, Xe, Krのいずれか1種または2種以上の元素である）合金で形成されることができる。

【0051】

ここで、前記PtMn合金及び前記X-Mnの式で示される合金において、PtあるいはXが37～63at%の範囲であることが好ましい。特に規定しない限り、～で示す数値範囲の上限と下限は以下、以上を意味する。

【0052】

また、Pt-Mn-X'の式で示される合金において、X' + Ptが37～63at%の範囲であることが好ましい。さらに、前記Pt-Mn-X'の式で示される合金において、X'が0.2～10at%の範囲であることが好ましい。ただし、X'がPd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である場合には、X'は0.2～40at%の範囲であることが好ましい。

【0053】

第1の反強磁性層及び第2の反強磁性層として、これらの適切な組成範囲の合

金を使用し、これを熱処理することにより、大きな交換結合磁界を発生する第1の反強磁性層及び第2の反強磁性層を得ることができる。特に、PtMn合金であれば、48kA/m以上、例えば64kA/mを越える交換結合磁界を有し、前記交換結合磁界を失うブロッキング温度が380°Cと極めて高い優れた第1の反強磁性層及び第2の反強磁性層を得ることができる。

【0054】

これらの合金は、成膜直後の状態では、不規則系の面心立方構造(fcc)であるが、熱処理によってCuAuI型の規則型の面心正方構造(fcc)に構造変態する。

【0055】

【発明の実施の形態】

図1は、本発明の第1の実施の形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た断面図である。

【0056】

図1の磁気検出素子は、基板11上に第1の反強磁性層12が積層され、さらに第1の固定磁性層13a、非磁性中間層13b、第2の固定磁性層13cからなるシンセティックフェリピンド型の固定磁性層13、非磁性材料層14、フリー磁性層15、非磁性中間層16、強磁性層17、第2の反強磁性層18、及び電極層19が、スパッタ法や蒸着法などの薄膜形成プロセスによって成膜されたものである。ここで、第2の反強磁性層18と強磁性層17がフリー磁性層15に対する縦バイアス層となる。

【0057】

第1の反強磁性層12及び第2の反強磁性層18は、PtMn合金、または、X-Mn(ただしXは、Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である)合金で、あるいはPt-Mn-X'(ただしX'は、Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Ag, Os, Cr, Ni, Ar, Ne, Xe, Krのいずれか1または2種以上の元素である)合金で形成する。

【0058】

第1の反強磁性層12及び第2の反強磁性層18として、これらの合金を使用

し、これを熱処理することにより、大きな交換結合磁界を発生する第1の反強磁性層12及び第2の反強磁性層18を得ることができる。特に、PtMn合金であれば、強磁性層との間に、48kA/m以上、例えば64kA/mを越える交換結合磁界を有し、前記交換結合磁界を失うブロッキング温度が380°Cと極めて高い優れた第1の反強磁性層12、及び第2の反強磁性層18を得ることができる。

【0059】

これらの合金は、成膜直後の状態では、不規則系の面心立方構造(fcc)であるが、熱処理によってCuAuI型の規則型の面心正方構造(fcc)に構造変態する。

【0060】

第1の反強磁性層12の膜厚は、トラック幅方向の中心付近において80~300Å、例えば200Åである。なお、本実施の形態の磁気検出素子は、第1の反強磁性層12と第2の反強磁性層18を同じ組成の反強磁性材料を用いて形成することができる。

【0061】

ここで、第1の反強磁性層12及び第2の反強磁性層18を形成するための、前記PtMn合金及び前記X-Mnの式で示される合金において、PtあるいはXが37~63at%の範囲であることが好ましい。また、Pt-Mn-X'の式で示される合金において、X'+Ptが37~63at%の範囲であることが好ましい。さらに、前記Pt-Mn-X'の式で示される合金において、X'が0.2~10at%の範囲であることが好ましい。ただし、X'がPd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である場合には、X'は0.2~40at%の範囲であることが好ましい。特に規定しない限り、~で示す数値範囲の上限と下限は以下、以上を意味する。

【0062】

また、後の記述において図1の磁気検出素子の製造方法を説明するときに、第1の反強磁性層12と第2の反強磁性層18の磁化方向を直交させるために適した、第1の反強磁性層12及び第2の反強磁性層18を形成するための前記Pt

Mn合金及び前記X-Mnの式で示される合金の組成範囲を示す。

【0063】

第1固定磁性層13a及び第2固定磁性層13cは、強磁性材料により形成されるもので、例えばNiFe合金、Co、CoNiFe合金、CoFe合金、CoNi合金などにより形成されるものであり、特にNiFe合金またはCoにより形成されることが好ましい。また、第1固定磁性層13a及び第2固定磁性層13cは同一の材料で形成されることが好ましい。

【0064】

また、非磁性中間層13b及び16は、非磁性材料により形成されるもので、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種またはこれらの2種以上の合金で形成されている。特にRuによって形成されることが好ましい。

【0065】

非磁性材料層は、固定磁性層13とフリー磁性層15との磁気的な結合を防止し、またセンス電流が主に流れる層であり、Cu、Cr、Au、Agなど導電性を有する非磁性材料により形成されることが好ましい。特にCuによって形成されることが好ましい。

【0066】

フリー磁性層15及び強磁性層17は、強磁性材料により形成されるもので、例えばNiFe合金、Co、CoNiFe合金、CoFe合金、CoNi合金などにより形成されるものであり、特にNiFe合金またはCoにより形成されることが好ましい。また、フリー磁性層15及び強磁性層17は同一の材料で形成されることが好ましい。

【0067】

電極層19は、例えば、Au、W、Cr、Taなどを用いて成膜される。

本実施の形態の磁気検出素子は電極層19、19と凹部21との間にトラック幅方向の段差ができる。なお、第2の反強磁性層18上に前述したTa、Crなどからなる保護層を介して電極層19、19が積層されてもよい。このとき前記保護層は電極下地層として機能する。

【0068】

図1の磁気検出素子では、第2の反強磁性層18及び強磁性層17を貫通する凹部21が形成されている。凹部21の側面21a, 21aは、基板11の表面11aに対して垂直になっている。すなわち、凹部21の側面21a, 21aは、トラック幅方向(図示X方向)に対して垂直になっている。図1では、底面21bが非磁性中間層16内に位置するように、凹部21が形成されている。また、凹部21の底面21bのトラック幅方向の幅寸法はトラック幅寸法Twに等しい。

【0069】

図1に示される磁気検出素子では、強磁性層17が、第2の反強磁性層18との磁気的結合(交換結合)によって磁化方向がトラック幅方向(図示X方向)に固定され、さらに、この強磁性層17の下層に非磁性中間層16を介して形成されたフリー磁性層15の磁化方向も、強磁性層17とのRKKY相互作用によって、トラック幅方向(図示X方向)に揃えられる。すなわち、第2の反強磁性層18の下層の領域(トラック幅方向両端部D, D)において強磁性層17、非磁性中間層16、及びフリー磁性層15がシンセティックフェリ構造となっており、フリー磁性層15の磁化方向をトラック幅方向方向に揃えることが容易になっている。

【0070】

従って、第2の反強磁性層18と強磁性層17との交換結合磁界が比較的弱くても、フリー磁性層15の磁化方向を確実に固定磁性層13の磁化方向と交叉する方向に揃えることが容易になる。

【0071】

本実施の形態では、第2の反強磁性層18のトラック幅領域に対向した部位が先細りしないので、フリー磁性層15の磁化方向は凹部21の底面21bに重なる領域以外のトラック幅方向両端部D, Dで、反強磁性を發揮するために十分な膜厚を有する第2の反強磁性層18との磁気的結合によって固定される。

【0072】

凹部21の底面21bに重なるフリー磁性層15の領域Eは、外部磁界が印加されない状態において、磁化方向が固定された両端部D, Dにならって図示X方向

に揃えられ、外部磁界が印加されるとその磁化方向が変化する。

【0073】

従って、磁気検出素子のトラック幅 T_w は、凹部21の底面21bの幅寸法によって決定され、しかも、トラック幅 T_w から外れた領域で記録信号を読み取つてしまうサイドリーディングを防止することができる。

【0074】

上述したように、本発明では、凹部21は一様の厚さで成膜された第2の反強磁性層を、反応性イオンエッチング（R I E）やイオンミリングを用いて、基板11の表面11aに対する垂直方向に削るだけで形成することができるので、正確な幅寸法 T_w で凹部21を形成することが可能になる。すなわち、磁気検出素子のトラック幅を正確に規定できる。

【0075】

また、磁気検出素子の形成時に設定されたトラック幅（光学的トラック幅） T_w の領域に不感領域が生じないので、高記録密度化に対応するために磁気検出素子の光学的トラック幅 T_w を小さくしていった場合の再生出力の低下を抑えることができる。

【0076】

さらに、本実施の形態では磁気検出素子の側端面S、Sがトラック幅方向に対して垂直となるように形成されることが可能なので、フリー磁性層15のトラック幅方向長さのバラつきを抑えることができる。

【0077】

また、図9に示される磁気検出素子では、非磁性中間層16はトラック幅 T_w の領域内において、フリー磁性層15の保護層として機能する。また、非磁性中間層16を、導電性を有する材料を用いて形成することにより、スピニルフィルター効果を有するバックド層（b a c k e d l a y e r）として機能させることができる。

【0078】

スピニルフィルター効果について説明する。図8及び図9はスピニル型磁気検出素子においてバックド層によるスピニルフィルター効果を説明するための模式

説明図であり、図8はバックド層がない構造例を示す模式図であり、図9はバックド層のある構造例を示す模式図である。

【0079】

巨大磁気抵抗GMR効果は、主として電子の「スピンに依存した散乱」によるものである。つまり磁性材料、ここではフリー磁性層の磁化方向に平行なスピン（例えばアップスピン）を持つ伝導電子の平均自由行程 λ_+ と、磁化方向に逆平行なスピン（例えばダウンスピン）を持つ伝導電子の平均自由行程 λ_- の差を利用したものである。図8及び図9では、アップスピンを持つ伝導電子を上向き矢印で表わし、ダウンスピンを持つ伝導電子を下向き矢印で表わしている。電子がフリー磁性層を通り抜けようとするときに、この電子がフリー磁性層の磁化方向に平行なアップスピンを持てば自由に移動できるが、反対にダウンスピンを持ったときには直ちに散乱されてしまう。

【0080】

これは、アップスピンを持つ電子の平均自由行程 λ_+ が、例えば、50オングストローム程度であるのに対して、ダウンスピンを持つ電子の平均自由行程 λ_- が6オングストローム程度であり、10分の1程度と極端に小さいためである。フリー磁性層115の膜厚は、6オングストローム程度であるダウンスピンを持つ電子の平均自由行程 λ_- よりも大きく、50オングストローム程度であるアップスピンを持つ電子の平均自由行程 λ_+ よりも小さく設定されている。

【0081】

従って、電子がフリー磁性層115を通り抜けようとするときに、この電子がフリー磁性層115の磁化方向に平行なアップスピンを持てば自由に移動できるが、反対にダウンスピンを持ったときには直ちに散乱されてしまう（フィルタアウトされる）。

【0082】

固定磁性層113で発生し、非磁性材料層114を通過するダウンスピン電子は、フリー磁性層115と非磁性材料層114との界面付近で散乱され、フリー磁性層115にはほとんど到達しない。つまり、このダウンスピン電子は、フリー磁性層115の磁化方向が回転しても平均自由行程に変化はなく、GMR効果

による抵抗変化率に影響しない。従ってGMR効果にはアップスピン電子の挙動のみを考えればよい。

【0083】

固定磁性層115で発生したアップスピン電子はこのアップスピン電子の平均自由行程 λ +より薄い厚さの非磁性材料層114中を移動し、フリー磁性層115に到達し、アップスピン電子はフリー磁性層115内を自由に通過できる。これは、アップスピン電子がフリー磁性層115の磁化方向に平行な спинを持っているためである。

【0084】

固定磁性層の磁化方向とフリー磁性層の磁化方向が反平行となる状態では、アップスピン電子はフリー磁性層115の磁化方向に平行な спинを持った電子でなくなる。すると、アップスピン電子は、フリー磁性層115と非磁性材料層114との界面付近で散乱されることになり、アップスピン電子の有効平均自由行程が急激に減少する。すなわち、抵抗値が増大する。抵抗変化率は、アップスピン電子の有効平均自由行程の変化量と正の相関関係を有する。

【0085】

図9に示すように、バックド層B_sが設けられている場合には、フリー磁性層115を通過したアップスピン電子はバックド層B_sにおいて、このバックド層B_sの材料で決定される追加平均自由行程 $\lambda+b$ を移動した後散乱する。すなわち、バックド層B_sを設けたことにより、アップスピン電子の平均自由行程 λ +が追加平均自由行程 $\lambda+b$ 分だけ延びる。

【0086】

バックド層として機能する非磁性中間層16を有する本実施の形態では、アップスピンの伝導電子の平均自由行程を伸ばすことができる。このため、外部磁界の印加によるアップスピン電子の平均自由行程の変化量が大きくなって、スピバルブ型磁気検出素子の磁気抵抗変化率($\Delta R/R$)をより向上させることができる。

【0087】

また、本実施の形態では、第1の反強磁性層12と第2の反強磁性層18を同

じ組成の反強磁性材料を用いて形成した場合でも、第1の反強磁性層12の交換異方性磁界の方向を図示Y方向に向けたまま、第2の反強磁性層18の交換異方性磁界を図示X方向に向けることができる。すなわち、本実施の形態では、フリー磁性層15の磁化方向を、固定磁性層13の磁化方向と直交する方向に固定できる。

【0088】

また、本実施の形態では、基板11上に直接第1の反強磁性層12が積層されているが、基板11上にアルミナ層及びTa等からなる下地層を介して第1の反強磁性層12が積層されてもよい。

【0089】

スピニルフィルター効果によるアップスピンの伝導電子とダウンスピンの伝導電子の平均自由行程差の拡大はフリー磁性層の膜厚が比較的薄い場合により効果を発揮する。

【0090】

フリー磁性層15の膜厚が15Åより薄いと強磁性材料層として機能するようにな形成することが難しくなり充分な磁気抵抗効果を得ることができない。

【0091】

また、フリー磁性層15の膜厚が45Åより厚いと前記鏡面反射層に到達する前に散乱されてしまうアップスピンの伝導電子が増加して鏡面反射効果(specular effect)によって抵抗変化率が変化する割合が減少するため好ましくない。

【0092】

また、図1では、単位面積あたりの磁気モーメントが異なる前記第1固定磁性層13aと前記第2固定磁性層13cが、前記非磁性中間層13bを介して積層されたものが、一つの固定磁性層13として機能する。

【0093】

第1固定磁性層13aは反強磁性層12と接して形成され、磁場中アニールが施されることにより、第1固定磁性層13aと反強磁性層12との界面にて交換結合による交換異方性磁界が生じ、第1固定磁性層13aの磁化方向が図示Y方向に固定される。第1固定磁性層13aの磁化方向が図示Y方向に固定されると

、非磁性中間層13bを介して対向する第2固定磁性層13cの磁化方向が、第1固定磁性層13aの磁化方向と反平行の状態で固定される。

【0094】

なお、第1固定磁性層13aの磁気モーメントと第2固定磁性層13cの磁気モーメントを足し合わせた合成磁気モーメントの方向が固定磁性層13の磁化方向となる。

【0095】

このように、第1固定磁性層13aと第2固定磁性層13cの磁化方向は、反平行となるフェリ磁性状態になっており、第1固定磁性層13aと第2固定磁性層13cとが互いに他方の磁化方向を固定しあうので、全体として固定磁性層13の磁化方向を一定方向に安定させることができるので好ましい。

【0096】

第1固定磁性層13a及び第2固定磁性層13cは、強磁性材料により形成されるもので、例えばNiFe合金、Co、CoNiFe合金、CoFe合金、CoNi合金などにより形成されるものであり、特にNiFe合金またはCoにより形成されることが好ましい。また、第1固定磁性層13a及び第2固定磁性層13cは同一の材料で形成されることが好ましい。図1では、前記第1固定磁性層13a及び前記第2固定磁性層13cを同じ材料を用いて形成し、さらに、それぞれの膜厚を異ならせることにより、それぞれの単位面積あたりの磁気モーメントを異ならせている。

【0097】

また、非磁性中間層13bは、非磁性材料により形成されるもので、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種またはこれらの2種以上の合金で形成されている。特にRuによって形成されることが好ましい。

【0098】

固定磁性層13が非磁性中間層13bの上下に第1固定磁性層13a及び第2固定磁性層13bが積層されたものとして形成されると、第1固定磁性層13a及び第2固定磁性層13bが互いの磁化方向を固定しあい、全体として固定磁性層113の磁化方向を一定方向に強力に固定することができる。すなわち、第1

の反強磁性層12と固定磁性層13との交換結合磁界 $H_{e x}$ を、例えば80~160 kA/mと、大きな値として得ることができる。

【0099】

また、本実施の形態では、固定磁性層13の固定磁化による反磁界（双極子磁界）を、第1の固定磁性層13a及び第2の固定磁性層13cの静磁界結合同士が相互に打ち消し合うことによりキャンセルできる。これにより、固定磁性層13の固定磁化による反磁界（双極子磁界）からの、フリー磁性層15の変動磁化への寄与を減少させることができる。

【0100】

従って、フリー磁性層15の変動磁化の方向を所望の方向に補正することがより容易になり、アシンメトリーの小さい対称性の優れた磁気検出素子を得ることが可能になる。

【0101】

また、固定磁性層13の固定磁化による反磁界（双極子磁界） H_d は、素子高さ方向において、その端部で大きく中央部で小さいという不均一な分布を持ち、フリー磁性層15内における单磁区化が妨げられる場合があるが、固定磁性層13を上記の積層構造とすることにより双極子磁界 H_d をほぼ $H_d = 0$ とことができ、これによってフリー磁性層15内に磁壁ができる磁化の不均一が発生しバルクハウゼンノイズなどが発生することを防止することができる。

ただし、固定磁性層13が单層の強磁性材料層として形成されてもよい。

【0102】

このスピンドル型磁気検出素子においては、電極層19、19からフリー磁性層15、非磁性材料層14、固定磁性層13に定常電流が与えられ、図示Z方向に走行する磁気記録媒体からの漏れ磁界が図示Y方向に与えられると、フリー磁性層15の磁化方向が図示X方向から図示Y方向に向けて変動する。このフリー磁性層15内での磁化方向の変動と第2の固定磁性層13bの磁化方向との関係で電気抵抗が変化し、この抵抗変化に基づく電圧変化により磁気記録媒体からの漏れ磁界が検出される。

【0103】

なお、フリー磁性層15と非磁性材料層14の間にC○などからなる拡散防止層が形成されていてもよい。この拡散防止層はフリー磁性層15と非磁性材料層14の相互拡散を防止する。また、第2固定磁性層13bと非磁性材料層14の間にC○などからなる拡散防止層が形成されていてもよい。この拡散防止層は第2固定磁性層13bと非磁性材料層14の相互拡散を防止する。

【0104】

本実施の形態の磁気検出素子の製造方法を説明する。

図1に示された磁気検出素子の第1の製造方法を説明する。

まず、基板11上に第1の反強磁性層12を積層する。さらに第1の固定磁性層13a、非磁性中間層13b、第2の固定磁性層13cからなるシンセティックフェリピンド型の固定磁性層13が積層され、固定磁性層13の上層に非磁性材料層14、フリー磁性層15、非磁性中間層16、強磁性層17、第2の反強磁性層18まで積層された多層膜A1を、スパッタ法や蒸着法などの薄膜形成プロセスによって、同一真空成膜装置中で連続成膜する。

【0105】

第1の反強磁性層12及び第2の反強磁性層18は、PtMn合金、または、X-Mn（ただしXは、Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である）合金で、あるいはPt-Mn-X'（ただしX'は、Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Ag, Os, Cr, Ni, Ar, Ne, Xe, Krのいずれか1または2種以上の元素である）合金で形成する。

【0106】

これらの合金は、成膜直後の状態では、不規則系の面心立方構造(fcc)であるが、熱処理によってCuAuI型の規則型の面心正方構造(fct)に構造変態する。

【0107】

第1の反強磁性層12の膜厚は、トラック幅方向の中心付近において80～300Åである。

【0108】

第1固定磁性層13a及び第2固定磁性層13cが、同一の材料で形成される

ことが好ましい。また、フリー磁性層15及び強磁性層17が、同一の材料で形成されることが好ましい。

【0109】

本発明では、このように、反強磁性層12から第2の反強磁性層18まで連続して成膜する。したがって各層の表面を大気に触れさせることなく、前記各層の表面が大気に触れた場合のように、大気に触れた表面をイオンミリングや逆スパッタによりクリーニングしてからその上の層を形成する必要がないため、容易に製造することができる。また、再現性が良好な製造方法とすることができます。さらに、前記各層の表面をイオンミリングや逆スパッタによりクリーニングする必要がないため、再付着物によるコンタミや、表面の結晶状態の乱れによる交換結合磁界の発生に対する悪影響など、クリーニングすることに起因する不都合が生じない製造方法とすることができます。また本発明では連続成膜のため、クリーニング工程が無くとも、反強磁性層12と第1の固定磁性層13aとの間、および第2の反強磁性層18と強磁性層17との間に適切に交換結合磁界を発生させることができる。

【0110】

次に、第1の熱処理工程を行う。まずトラック幅Tw（図示X方向）と直交する方向である第1の磁界（図示Y方向）を印加しつつ、第1の熱処理温度で熱処理し、第1の反強磁性層12と第1の固定磁性層13aとの間、および第2の反強磁性層18と強磁性層17との間に交換結合磁界を発生させて、第1の固定磁性層13aおよび強磁性層17の磁化を同一方向に固定すると共に、第1の反強磁性層12と第1の固定磁性層13aとの間の交換結合磁界を、第2の反強磁性層18と強磁性層17との間の交換結合磁界よりも大とする。

【0111】

第1の反強磁性層12と第1の固定磁性層13aとの間の交換結合磁界を、第2の反強磁性層18と強磁性層17との間の交換結合磁界よりも大とするために、前記第1の熱処理温度を220℃以上で245℃以下にすることが好ましい。

【0112】

これにより第1の反強磁性層12と第1の固定磁性層13aとの間の交換結合

磁界を 1.58×10^4 (A/m) 以上にでき、またより好ましくは 230°C 以上とすれば 4.74×10^4 (A/m) 以上の高い交換結合磁界を得ることができる。

【0113】

一方、第2の反強磁性層18と強磁性層17との間の交換結合磁界は、第1の反強磁性層12と第1の固定磁性層13aとの間の交換結合磁界よりも小さくなる。

【0114】

次に、第2の熱処理工程を行う。この工程では第1の磁界と直交する方向の第2の磁界（トラック幅方向）を印加しつつ、前記第1の熱処理温度よりも高い第2の熱処理温度を施す。また前記第2の印加磁界の大きさを、前記第1の熱処理工程時の第2の反強磁性層18と強磁性層17との間の交換結合磁界よりも大きく、且つ第1の熱処理工程時の第1の反強磁性層12と第1の固定磁性層13aとの間の交換結合磁界よりも小さくする。

【0115】

本発明では、第2の熱処理温度を 250°C 以上で 270°C 以下に設定することが好ましい。

【0116】

これにより第2の反強磁性層18と強磁性層17との間の交換結合磁界を 3.16×10^4 (A/m) 以上にでき、先の第1の熱処理工程にて発生した交換結合磁界よりも大きくできる。

【0117】

またこのとき、第2の印加磁界を先の第1の熱処理工程にて発生した第1の反強磁性層12と第1の固定磁性層13aとの間の交換結合磁界よりも小さくすることで、第1の反強磁性層12に第2の印加磁界が印加されても、第1の反強磁性層12と第1の固定磁性層13aとの間の交換結合磁界が劣化することがなく、固定磁性層13の磁化方向をハイト方向に固定したままにすることが可能になる。なお固定磁性層13はシンセティックフェリ構造であるので、磁化状態は安定化し、第1の固定磁性層13aと第2の固定磁性層13bの磁化は反平行状

態になる。

【0118】

以上のように2回の熱処理工程の温度と印加磁界の大きさ及び方向を適切に調整することで、固定磁性層13の磁化方向とフリー磁性層15の磁化方向を適切にしかも容易に交叉するように調整することが可能である。

【0119】

なお上記した第1の反強磁性層12と第1の固定磁性層13a及び第2の反強磁性層18と強磁性層17との間の交換結合磁界の大きさは、それぞれの層の組成比に大きく左右されるため、第1の反強磁性層12及び第2の反強磁性層18の成膜の際に組成比の調整を行うことが好ましい。

【0120】

例えば、第1の反強磁性層12を X_mMn_{100-m} （但し、Xは、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種以上の元素）からなる合金で形成したとき、組成比を示すmを、46原子% $\leq m \leq 53.5$ 原子%とすることが好ましい。またより好ましい組成範囲は、mが48.5原子%以上で52.7原子%以下である。

【0121】

また第1の反強磁性層12を $Pt_mMn_{100-m-n}Z_n$ （但し、Zは、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種または2種以上の元素）で形成したとき、組成比を示すm、nを、46原子% $\leq m+n \leq 53.5$ 原子%、0.2原子% $\leq n \leq 40$ 原子%とすることが好ましい。またより好ましいm+nの組成範囲は、48.5原子%以上で52.7原子%以下である。

【0122】

また第1の反強磁性層12を $Pt_qMn_{100-q-j}L_j$ （但し、Lは、Au、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのうちの少なくとも1種または2種以上の元素）で形成したとき、組成比を示すq、jを、46原子% $\leq q+j \leq 53.5$ 原子%、0.2原子% $\leq j \leq 10$ 原子%とすることが好ましい。またより好ましいq+jの組成範囲は、48.5原子%以上で52.7原子%以下である。

【0123】

また第2の反強磁性層18を X_mMn_{100-m} （但し、Xは、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種以上の元素）からなる合金で形成したとき、組成比を示すmを、49原子% $\leq m \leq 55$. 5原子%とすることが好ましい。またより好ましいmは、49. 5原子%以上で54. 5原子%以下である。

【0124】

また前記第2の反強磁性層18を $Pt_mMn_{100-m-n}Z_n$ （但し、Zは、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種または2種以上の元素）で形成したとき、組成比を示すm、nを、49原子% $\leq m+n \leq 55$. 5原子%、0. 2原子% $\leq n \leq 40$ 原子%とすることが好ましい。また $m+n$ は49. 5原子%以上で54. 5原子%以下であることがより好ましい。

【0125】

また前記第2の反強磁性層18を $Pt_qMn_{100-q-j}L_j$ （但し、Lは、Au、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのうちの少なくとも1種または2種以上の元素）で形成したとき、組成比を示すq、jは、49原子% $\leq q+j \leq 55$. 5原子%、0. 2原子% $\leq j \leq 10$ 原子%とすることが好ましい。なおq+jのより好ましい範囲は49. 5原子%以上で54. 5原子%以下である。

【0126】

また本発明では、第1の反強磁性層12及び第2の反強磁性層18の双方の組成を同じにしてもよい。かかる場合、以下の組成比を有することが好ましい。

【0127】

すなわち第1の反強磁性層12及び第2の反強磁性層18を、 X_mMn_{100-m} （但し、Xは、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種以上の元素）からなる合金で形成するとき、第1の反強磁性層12および第2の反強磁性層18の組成比を示すmを、49原子% $\leq m \leq 53$. 5原子%とすることが好ましい。なにより好ましい組成範囲はmは49. 5原子%以上で52. 7原子%以下である。また上限は51. 2原子%以下であることが最も好ましい

【0128】

また、第1の反強磁性層12および第2の反強磁性層18を、 $Pt_mMn_{100-m-n}Z_n$ （但し、Zは、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種または2種以上の元素）で形成したとき、組成比を示すm、nを、49原子% $\leq m+n \leq 53$ 、5原子%、0.2原子% $\leq n \leq 40$ 原子%とすることが好ましい。なおより好ましい組成範囲はmは49.5原子%以上で52.7原子%以下である。また上限は51.2原子%以下であることが最も好ましい。

【0129】

また第1の反強磁性層12および第2の反強磁性層18を、 $Pt_qMn_{100-q-j}L_j$ （但し、Lは、Au、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのうちの少なくとも1種または2種以上の元素）で形成したとき、組成比を示すq、jを、49原子% $\leq q+j \leq 53$ 、5原子%、0.2原子% $\leq j \leq 10$ 原子%とすることが好ましい。なおより好ましい組成範囲はmは49.5原子%以上で52.7原子%以下である。また上限は51.2原子%以下であることが最も好ましい。

【0130】

また第1の反強磁性層12の組成と、第2の反強磁性層18の組成を異ならしめ、例えば第1の反強磁性層12のMn濃度を第2の反強磁性層のMn濃度よりも多くすることにより、第1の熱処理後の両者の交換結合磁界の差をより顕著にでき、第2の熱処理後にフリー磁性層15と固定磁性層13の磁化をより確実に直交状態とすることが可能となる。またかかる場合、交換結合磁界の差を顕著にできる組み合わせを多数選択でき、設計の自由度が向上する。

【0131】

以上説明した組成範囲内であれば、第1の熱処理を施したとき、第1の反強磁性層12と第1の固定磁性層13aとの間の交換結合磁界を大きくできると共に、第1の反強磁性層12と第1の固定磁性層13aとの間の交換結合磁界を第2の反強磁性層18と強磁性層17との間の交換結合磁界よりも大きくでき、さらに第2の熱処理を施したとき、第2の反強磁性層18と強磁性層17との間の交

換結合磁界を先の交換結合磁界よりも大きくすることができる。

【0132】

よって上記した固定磁性層13とフリー磁性層15の磁化の直交化を適切に行なうことが可能である。

【0133】

次に、第2の反強磁性層18上にレジストを積層し、第2の反強磁性層18上をトラック幅Twの間隔を開けてマスキングする。第2の反強磁性層18の前記レジストによってマスクされない部分を、イオンミリングまたは反応性イオンエッチング(RIE)などによって、基板11の表面11aに対する垂直方向、すなわちトラック幅方向(図示X方向)に対する垂直方向に削り込むことにより凹部21を形成する。凹部21の側面21a, 21aは、トラック幅方向に対して垂直になっている。凹部21の底面21bが非磁性中間層16内に位置するよう、凹部21を形成する。

【0134】

すなわち、強磁性層17の磁化方向は、凹部21の底面21bに重なる領域以外のトラック幅方向両端部D, Dでのみ、第2の反強磁性層18との交換結合によって固定される。従って、強磁性層17の下層に非磁性中間層16を介して積層されているフリー磁性層15の磁化方向も、トラック幅方向両端部D, Dでのみ強磁性層17とのRKKY相互作用により固定される。

【0135】

凹部21の底面21bに重なるフリー磁性層15の領域Eは、外部磁界が印加されない状態において、磁化方向が固定された両端部D, Dにならって図示X方向に揃えられ、外部磁界が印加されるとその磁化方向が変化する。

【0136】

従って、磁気検出素子のトラック幅は、前記凹部の幅寸法Twによって決定される。

【0137】

凹部21の形成後、凹部21の幅寸法(=トラック幅Tw)より広い幅寸法の領域を覆うリフトオフ用のレジストを第2の反強磁性層18上に形成し、第2の

反強磁性層18上であって、前記リフトオフ用のレジストによって覆われていない領域に電極層19, 19をスパッタ法や蒸着法によって成膜する。電極層19, 19は、例えば、Au、W、Cr、Taなどを用いて成膜される。電極層19, 19の成膜後、レジスト層21を除去して磁気検出素子を得る。

【0138】

この磁気検出素子は電極層19, 19と凹部21との間にトラック幅方向の段差ができる。なお、第2の反強磁性層18上に前述したTa, Crなどからなる保護層を介して電極層19, 19が積層されてもよい。

【0139】

なお、上記説明では第2の反強磁性層18の上層に前記レジストを積層して、第2の反強磁性層18に凹部を形成した後、第2の反強磁性層18の上層に電極層19, 19を積層したが、第2の反強磁性層18の上層に電極層19を成膜した後、電極層19をマスクとして第2の反強磁性層18に凹部を形成すると、図5に示されるような電極層19の傾斜面19aと凹部21の側面21aが連続面となる磁気検出素子が得られる。

【0140】

また、前記第2の磁場中アニールは、第2の反強磁性層18に凹部21を形成した後行ってもよい。

【0141】

また、本実施の形態では、基板11上に直接第1の反強磁性層12が積層されているが、基板11上にアルミナ層及びTa等からなる下地層を介して反強磁性層12が積層されてもよい。

【0142】

図1に示された磁気検出素子の第2の製造方法を説明する。

まず、基板11上に第1の反強磁性層12を積層する。さらに第1の固定磁性層13a、非磁性中間層13b、第2の固定磁性層13cからなるシンセティックフェリピンド型の固定磁性層13が積層され、固定磁性層13の上層に非磁性材料層14、フリー磁性層15、非磁性中間層16、強磁性層17が積層されて、多層膜A.2が形成される。なお、図示されていないが、強磁性層17上にTa

などからなる保護層を積層してもよい。第1の反強磁性層12、固定磁性層13、非磁性材料層14、フリー磁性層15、非磁性中間層16、強磁性層17及び前記保護層はスパッタ法や蒸着法などの薄膜形成プロセスによって、同一真空成膜装置内で形成される。

【0143】

第1の反強磁性層12、第1の固定磁性層13a、非磁性中間層13b、第2の固定磁性層13c、非磁性材料層14、フリー磁性層15、非磁性中間層16、強磁性層17の材料及び膜厚は前記第1の製造方法と同じである。

【0144】

次に、強磁性層17または前記保護層まで積層された前記多層膜を第1の熱処理温度、Y方向を向いた第1の大きさの磁界中で、第1の磁場中アニールを行い、第1の反強磁性層12と第1の固定磁性層13aとの間に交換異方性磁界を発生させ、固定磁性層13の磁化方向を図示Y方向に固定する。本実施の形態では、前記第1の熱処理温度を270°C、磁界の第1の大きさを800k(A/m)としている。

【0145】

前記多層膜を第1の磁場中アニールにかけたときに、前記保護層は、その表面から10~20Å程度酸化する。そこで、前記保護層をイオンミリングまたは反応性イオンエッティング(RIE)によって除去する。

【0146】

さらに、強磁性層17を所定の厚さ削る。強磁性層17を削るのは、次の工程において、強磁性層17上に第2の反強磁性層18を積層するときに、強磁性層17上に第2の反強磁性層18を真空中で連続成膜することが必要なためである。

【0147】

次に、強磁性層17の研削後の表面上に、強磁性層17を再成膜し、さらに強磁性層17上に第2の反強磁性層18を連続成膜する。強磁性層17を再成膜するときには、最初に強磁性層17を成膜したときに用いた強磁性材料と同じ強磁性材料を用いると磁気的結合を良好にできるので好ましい。第2の反強磁性層1

8の膜厚は、トラック幅方向の中心付近において80~300Å、例えば200Åである。

【0148】

第2の反強磁性層18の材料も上述した第1の製造方法で用いた材料と同じである。

【0149】

ここで、第1の反強磁性層12及び第2の反強磁性層18を形成するための、前記PtMn合金及び前記X-Mnの式で示される合金において、PtあるいはXが37~63at%の範囲であることが好ましい。また、前記PtMn合金及び前記X-Mnの式で示される合金において、PtあるいはXが47~57at%の範囲であることがより好ましい。特に規定しない限り、~で示す数値範囲の上限と下限は以下、以上を意味する。

【0150】

また、Pt-Mn-X'の式で示される合金において、X' + Ptが37~63at%の範囲であることが好ましい。また、前記Pt-Mn-X'の式で示される合金において、X' + Ptが47~57at%の範囲であることがより好ましい。さらに、前記Pt-Mn-X'の式で示される合金において、X'が0.2~10at%の範囲であることが好ましい。ただし、X'がPd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である場合には、X'は0.2~40at%の範囲であることが好ましい。

【0151】

第1の反強磁性層12及び第2の反強磁性層18として、これらの適切な組成範囲の合金を使用し、これを熱処理することにより、大きな交換結合磁界を発生する第1の反強磁性層及び第2の反強磁性層を得ることができる。特に、PtMn合金であれば、強磁性層との間に48kA/m以上、例えば64kA/mを越える交換結合磁界を有し、前記交換結合磁界を失うブロッキング温度が380°Cと極めて高い優れた第1の反強磁性層及び第2の反強磁性層を得ることができる。

【0152】

これらの合金は、成膜直後の状態では、不規則系の面心立方構造 (f c c) であるが、熱処理によって CuAuI 型の規則型の面心正方構造 (f c t) に構造変態する。なお、本実施の形態の磁気検出素子は、第 1 の反強磁性層 12 と第 2 の反強磁性層 18 を同じ組成の反強磁性材料を用いて形成することができる。

【0153】

また、第 2 の反強磁性層 18 の上層に Ta などの非磁性材料からなる保護層を成膜してもよい。

【0154】

次に第 2 の反強磁性層 18 まで形成された多層膜 B を、第 2 の熱処理温度、X 方向を向いた第 2 の大きさの磁界中で、第 2 の磁場中アニールにかけて、第 2 の反強磁性層 18 と強磁性層 17 との間に交換異方性磁界を発生させ、強磁性層 17 の磁化方向を図示 X 方向に固定する。本実施の形態では、前記第 2 の熱処理温度を 250°C、磁界の第 2 の大きさを 24 k (A/m) としている。

【0155】

第 2 の反強磁性層 18 と強磁性層 17 との間の交換異方性磁界は、第 2 の磁場中アニール工程において始めて生じる。従って、第 1 の反強磁性層 12 と第 1 の固定磁性層 13a との間の交換異方性磁界の方向を図示 Y 方向に向けたまま、第 2 の反強磁性層 18 と強磁性層 17 との間の交換異方性磁界を図示 X 方向に向けたためには、前記第 2 の熱処理温度を、第 1 の反強磁性層 12 による交換結合磁界が消失するブロッキング温度より低い温度に設定し、前記第 2 の磁界の大きさを第 1 の反強磁性層 12 と固定磁性層 13a との間の交換異方性磁界より小さくするだけよい。また、第 2 の磁場中アニールをこれらの条件下で行えば、第 1 の反強磁性層 12 と第 2 の反強磁性層 18 を同じ組成の反強磁性材料を用いて形成しても、第 1 の反強磁性層 12 と固定磁性層 13a との間の交換異方性磁界の方向を図示 Y 方向に向けたまま、第 2 の反強磁性層 18 と強磁性層 17 との間の交換異方性磁界を図示 X 方向に向けたことができる。すなわち、フリー磁性層 15 の磁化方向を、固定磁性層 13 の磁化方向と直交する方向に固定することが容易になる。

【0156】

次に、第2の反強磁性層18上にレジストを積層し、第2の反強磁性層18上をトラック幅Twの間隔を開けてマスキングする。第2の反強磁性層18の前記レジストによってマスクされない部分を、イオンミリングまたは反応性イオンエッチング（RIE）などによって、基板11の表面11aに対する垂直方向、すなわちトラック幅方向（図示X方向）に対する垂直方向に削り込むことにより凹部21を形成する。凹部21の側面21a, 21aは、トラック幅方向に対して垂直になっている。凹部21の底面21bが非磁性中間層16内に位置するよう、凹部21を形成する。

【0157】

強磁性層17の磁化方向は、凹部21の底面21bに重なる領域以外のトラック幅方向両端部D, Dでのみ、第2の反強磁性層18との交換結合によって固定される。従って、強磁性層17の下層に非磁性中間層16を介して積層されているフリー磁性層15の磁化方向も、トラック幅方向両端部D, Dでのみ強磁性層17とのRKKY相互作用により固定される。

【0158】

凹部21の底面21bに重なるフリー磁性層15の領域Eは、外部磁界が印加されない状態において、磁化方向が固定された両端部D, Dにならって図示X方向に揃えられ、外部磁界が印加されるとその磁化方向が変化する。

【0159】

従って、磁気検出素子のトラック幅は、前記凹部の幅寸法Twによって決定される。上述したように、本発明では、凹部21は一様の厚さで成膜された第2の反強磁性層42を、反応性イオンエッチング（RIE）やイオンミリングを用いて、基板11の表面11aに対する垂直方向に削るだけで形成することができる所以、正確な幅寸法Twで凹部21を形成することが可能になる。すなわち、磁気検出素子のトラック幅Twを正確に規定できる。

【0160】

凹部21の形成後、凹部21の幅寸法（＝トラック幅Tw）より広い幅寸法の領域を覆うリフトオフ用のレジストを第2の反強磁性層18上に形成し、第2の反強磁性層18上であって、前記リフトオフ用のレジストによって覆われていな

い領域に電極層19, 19をスパッタ法や蒸着法によって成膜する。電極層19, 19は、例えば、Au、W、Cr、Taなどを用いて成膜される。電極層19, 19の成膜後、レジスト層21を除去して磁気検出素子を得る。

【0161】

本製造方法によって形成された磁気検出素子は電極層19, 19と凹部21との間にトラック幅方向の段差ができる。なお、第2の反強磁性層18上に前述したTa, Crなどからなる保護層を介して電極層19, 19が積層されてもよい。

【0162】

なお、上記説明では第2の反強磁性層18の上層に前記レジストを積層して、第2の反強磁性層18に凹部を形成した後、第2の反強磁性層18の上層に電極層19, 19を積層したが、第2の反強磁性層18の上層に電極層19を成膜した後、電極層19をマスクとして第2の反強磁性層18に凹部を形成すると、図5に示されるような電極層19の傾斜面19aと凹部21の側面21aが連続面となる磁気検出素子が得られる。

【0163】

また、前記第2の磁場中アニールは、第2の反強磁性層18に凹部21を形成した後行ってもよい。

【0164】

また、本実施の形態では、基板11上に直接第1の反強磁性層12が積層されているが、基板11上にアルミナ層及びTa等からなる下地層を介して反強磁性層12が積層されてもよい。

【0165】

図2は、本発明の第2の実施の形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た断面図である。

【0166】

図2の磁気検出素子でも図1の磁気検出素子と同様に、基板11側から第1の反強磁性層12、第1の固定磁性層13a、非磁性中間層13b、第2の固定磁性層13B、非磁性材料層14、フリー磁性層15、非磁性中間層16、及び強

磁性層17が順に積層されている。

【0167】

第1の反強磁性層12、固定磁性層13、非磁性材料層14、フリー磁性層15、非磁性中間層16、及び強磁性層17の材料は図1に示された磁気検出素子の製造方法において用いた材料と同じである。

【0168】

図2では、強磁性層17と第2の反強磁性層18の間に、非磁性層30及び他の反強磁性層31が形成されている。

【0169】

他の反強磁性層31は、PtMn合金、または、X-Mn（ただしXは、Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である）合金で、あるいはPt-Mn-X'（ただしX'は、Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Ag, Os, Cr, Ni, Ar, Ne, Xe, Krのいずれか1または2種以上の元素である）合金で形成する。

【0170】

他の反強磁性層31は、後述する図2の磁気検出素子の製造方法において、第1の反強磁性層12に交換異方性磁界を発生するために磁場中熱処理する工程において、非磁性層30の酸化を防ぐためのものである。

【0171】

非磁性層30は、Ruによって形成され、膜厚は8~11Åである。また、非磁性層は、Ru, Cu, Ag, Auのうち1種または2種以上の元素を用いて形成することもできる。

【0172】

また、第2の反強磁性層18と電極層19の間にTa, CRなどからなる電極下地層（保護層）が形成されてもよい。

【0173】

なお、フリー磁性層15と非磁性材料層14の間にCoなどからなる拡散防止層が形成されていてもよい。この拡散防止層はフリー磁性層15と非磁性材料層14の相互拡散を防止する。また、第2固定磁性層13cと非磁性材料層14の

間にC○などからなる拡散防止層が形成されていてもよい。この拡散防止層は第2固定磁性層13cと非磁性材料層14の相互拡散を防止する。

【0174】

図2に示される磁気検出素子では、強磁性層17が、第2の反強磁性層18及び他の反強磁性層31との非磁性層30を介したRKKY相互作用によって磁化方向がトラック幅方向(図示X方向)に固定され、さらに、この強磁性層17の下層に非磁性中間層16を介して形成されたフリー磁性層15の磁化方向も、強磁性層17とのRKKY相互作用によって、トラック幅方向(図示X方向)に揃えられる。すなわち、第2の反強磁性層18の下層の領域(トラック幅方向両端部D, D)において強磁性層17、非磁性中間層16、及びフリー磁性層15がシンセティックフェリ構造となっており、フリー磁性層15の磁化方向をトラック幅方向に揃えることが容易になっている。

【0175】

従って、第2の反強磁性層18及び他の反強磁性層31と強磁性層17とのRKKY相互作用が比較的弱くても、フリー磁性層15の磁化方向を確実に固定磁性層13の磁化方向と交叉する方向に揃えることが容易になる。なお、フリー磁性層15の磁化方向が固定磁性層13の磁化方向に対して直交していることが好みしい。

【0176】

本実施の形態では、第2の反強磁性層18、他の反強磁性層31、非磁性層30及び強磁性層17を貫通し、底面41bが非磁性中間層16内に位置している凹部41が形成されている。凹部41の底面41bのトラック幅方向の幅寸法がトラック幅寸法に等しい。凹部41の側面41a, 41aは、トラック幅方向に対する垂直面となっている。

【0177】

本実施の形態でも、第2の反強磁性層18のトラック幅領域に対向した部位が先細りしない。フリー磁性層15の磁化方向は、凹部41の底面41bの下部に位置する領域以外のトラック幅方向両端部D, Dで反強磁性を発揮するために十分な膜厚を有する第2の反強磁性層18及び他の反強磁性層31との交換結合に

よって固定される。

【0178】

フリー磁性層15の凹部41の底面41bの下部に位置する領域Eは、外部磁界が印加されない状態において、第2の反強磁性層18及び他の反強磁性層31との交換結合によって磁化方向が固定された両端部D、Dにならって図示X方向に揃えられ、外部磁界が印加されるとその磁化方向が変化する。

【0179】

従って、磁気検出素子のトラック幅Twは、凹部41の底面41bのトラック幅方向の幅寸法によって決定され、しかも、トラック幅Twから外れた領域で記録信号を読み取ってしまうサイドリーディングを防止することができる。

【0180】

上述したように、本発明では、凹部41は一様の厚さで成膜された第2の反強磁性層を、反応性イオンエッティング（RIE）やイオンミリングを用いて、基板11の表面11aに対する垂直方向に削るだけで形成することができるので、正確な幅寸法Twで凹部41を形成することが可能になる。すなわち、磁気検出素子のトラック幅を正確に規定できる。

【0181】

また、磁気検出素子の形成時に設定されたトラック幅（光学的トラック幅）Twの領域に不感領域が生じないので、高記録密度化に対応するために磁気検出素子の光学的トラック幅Twを小さくしていった場合の再生出力の低下を抑えることができる。

【0182】

さらに、本実施の形態では磁気検出素子の側端面S、Sがトラック幅方向に対して垂直となるように形成されることが可能なので、フリー磁性層15の幅方向長さのバラつきを抑えることができる。

【0183】

また、図2に示される磁気検出素子では、非磁性中間層16はトラック幅Twの領域内において、フリー磁性層15の保護層として機能する。また、非磁性中間層16を、導電性を有する材料を用いて形成することにより、スピンドル

一効果を有するバックド層 (backed layer) として機能させることができ可能になる。

【0184】

また、図3に示されるように、強磁性層17の上層に直接、他の反強磁性層31が積層されてもよい。図3の磁気検出素子では、強磁性層17の磁化方向は、他の反強磁性層31及び第2の反強磁性層18との交換結合によって図示X方向に揃えられる。

【0185】

さらに、この強磁性層17の下層に非磁性中間層16を介して形成されたフリー磁性層15の磁化方向も、強磁性層17とのRKKY相互作用によって、トラック幅方向（図示X方向）に揃えられる。すなわち、第2の反強磁性層18の下層の領域（トラック幅方向両端部D, D）において強磁性層17、非磁性中間層16、及びフリー磁性層15がシンセティックフェリ構造となっており、フリー磁性層15の磁化方向をトラック幅方向に揃えることが容易になっている。

【0186】

従って、第2の反強磁性層18及び他の反強磁性層31と強磁性層17との交換結合が比較的弱くても、フリー磁性層15の磁化方向を確実に固定磁性層13の磁化方向と交叉する方向に揃えることが容易になる。なお、フリー磁性層15の磁化方向が固定磁性層13の磁化方向に対して直交していることが好ましい。

【0187】

フリー磁性層15の磁化方向は、凹部41の底面41bの下部に位置する領域以外のトラック幅方向両端部D, Dでのみ、確実に第2の反強磁性層18及び他の反強磁性層31との交換結合によって固定される。

【0188】

フリー磁性層15の凹部41の底面41bの下部に位置する領域Eは、外部磁界が印加されない状態において、第2の反強磁性層18及び他の反強磁性層31との交換結合によって磁化方向が固定された両端部D, Dにならって図示X方向に揃えられ、外部磁界が印加されるとその磁化方向が変化する。

【0189】

また、図3に示される磁気検出素子でも、非磁性中間層16はトラック幅Twの領域内において、フリー磁性層15の保護層として機能する。また、非磁性中間層16を、導電性を有する材料を用いて形成することにより、スピンドルターエフェクトを有するバックド層(backed layer)として機能させることが可能になる。

【0190】

また、第1の反強磁性層12と第2の反強磁性層18と同じ組成の反強磁性材料を用いて形成しても、第1の実施の形態と同様に、第1の反強磁性層12と固定磁性層13aとの間の交換異方性磁界の方向を図示Y方向に向けたまま、第2の反強磁性層18、他の反強磁性層31と強磁性層17との間の交換異方性磁界を図示X方向に向けることができる。

【0191】

また、図4に示されるように、非磁性層30の上層に第2の反強磁性層が直接積層されてもよい。図4の磁気検出素子では、強磁性層17の磁化方向は、第2の反強磁性層18とのRKKY相互作用によって図示X方向にそろえられる。

【0192】

さらに、この強磁性層17の下層に非磁性中間層16を介して形成されたフリー磁性層15の磁化方向も、強磁性層17とのRKKY相互作用によって、トラック幅方向(図示X方向)に揃えられる。すなわち、第2の反強磁性層18の下層の領域(トラック幅方向両端部D, D)において強磁性層17、非磁性中間層16、及びフリー磁性層15がシンセティックフェリ構造となっており、フリー磁性層15の磁化方向をトラック幅方向に揃えることが容易になっている。

【0193】

従って、第2の反強磁性層18と強磁性層17とのRKKY相互作用が比較的弱くても、フリー磁性層15の磁化方向を確実に固定磁性層13の磁化方向と交叉する方向に揃えることが容易になる。なお、フリー磁性層15の磁化方向が固定磁性層13の磁化方向に対して直交していることが好ましい。

【0194】

フリー磁性層15の磁化方向は、凹部41の底面41bの下部に位置する領域

以外のトラック幅方向両端部D, Dでのみ、確実に第2の反強磁性層18との磁気的結合によって固定される。

【0195】

フリー磁性層15の凹部41の底面41bの下部に位置する領域Eは、外部磁界が印加されない状態において、第2の反強磁性層18とのRKKY相互作用によって磁化方向が固定された両端部D, Dにならって図示X方向に揃えられ、外部磁界が印加されるとその磁化方向が変化する。

【0196】

また、図4に示される磁気検出素子でも、非磁性中間層16はトラック幅Twの領域内において、フリー磁性層15の保護層として機能する。また、非磁性中間層16を、導電性を有する材料を用いて形成することにより、スピニルターチ効果を有するバックド層(backed layer)として機能させることが可能になる。

【0197】

また、第1の反強磁性層12と第2の反強磁性層18と同じ組成の反強磁性材料を用いて形成しても、第1の実施の形態と同様に、第1の反強磁性層12と固定磁性層13aとの間の交換異方性磁界の方向を図示Y方向に向けたまま、第2の反強磁性層18と強磁性層17との間の交換異方性磁界を図示X方向に向けることができる。

【0198】

このスピニルバブル型磁気検出素子においては、電極層19、19からフリー磁性層15、非磁性材料層14、固定磁性層13に定常電流が与えられ、図示Z方向に走行する磁気記録媒体からの漏れ磁界が図示Y方向に与えられると、フリー磁性層15の磁化方向が図示X方向から図示Y方向に向けて変動する。このフリー磁性層15内での磁化方向の変動と第2の固定磁性層13cの磁化方向との関係で電気抵抗が変化し、この抵抗変化に基づく電圧変化により磁気記録媒体からの漏れ磁界が検出される。

【0199】

図2に示された磁気検出素子の製造方法を説明する。

まず、基板11側から第1の反強磁性層12、固定磁性層13、非磁性材料層14、フリー磁性層15、非磁性中間層16、強磁性層非磁性層16、他の反強磁性層31からなる多層膜A2を形成する。

【0200】

第1の反強磁性層12、固定磁性層13、非磁性材料層14、フリー磁性層15、非磁性中間層16、強磁性層17、非磁性層30及び他の反強磁性層31はスパッタ法や蒸着法などの薄膜形成プロセスによって同一真空中成膜装置中で連続成膜される。

【0201】

第1の反強磁性層12、固定磁性層13、非磁性材料層14、フリー磁性層15、非磁性中間層16、及び強磁性層17の材料は図1に示された磁気検出素子の製造方法において用いた材料と同じである。

【0202】

非磁性層30は、Ruによって形成され、膜厚は8～11Åである。また、非磁性層は、Ru, Cu, Ag, Auのうち1種または2種以上の元素を用いて形成することもできる。

【0203】

他の反強磁性層31は、PtMn合金、または、X-Mn（ただしXは、Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である）合金で、あるいはPt-Mn-X'（ただしX'は、Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Ag, Os, Cr, Ni, Ar, Ne, Xe, Krのいずれか1または2種以上の元素である）合金で形成する。

【0204】

次に、多層膜A2を第1の熱処理温度、Y方向を向いた第1の大きさの磁界中で、第1の磁場中アニールを行い、第1の反強磁性層12に交換異方性磁界を発生させ、固定磁性層13の磁化方向を図示Y方向に固定する。本実施の形態では、前記第1の熱処理温度を270℃、磁界の第1の大きさを800k(A/m)としている。

【0205】

ここで、他の反強磁性層31の膜厚は30Åである。他の反強磁性層31の膜厚が30Å以下であると、他の反強磁性層31を磁場中アニールにかけても不規則構造から規則構造への変態が生じず、非磁性層30を介した強磁性層17との間にRKKY相互作用に基づく交換異方性磁界が発生しない。従って、多層膜Aを第1の磁場中アニールにかけたときに、他の反強磁性層31には交換異方性磁界が発生せず、強磁性層17の磁化方向が図示Y方向に固定されることはない。

【0206】

多層膜A3を第1の磁場中アニールにかけたときに、他の反強磁性層31は、その表面から10～20Å程度酸化する。そこで、多層膜A3の状態で他の反強磁性層31の表面をイオンミリングによって20Å程削り、酸化した部分を除去する。

【0207】

次に、多層膜A2上に、第2の反強磁性層である第2の反強磁性層18を成膜する。

【0208】

第2の反強磁性層18は、第1の反強磁性層12と同様に、PtMn合金、または、X-Mn（ただしXは、Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である）合金で、あるいはPt-Mn-X'（ただしX'は、Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Ag, Os, Cr, Ni, Ar, Ne, Xe, Krのいずれか1または2種以上の元素である）合金で形成する。

【0209】

第2の反強磁性層18の膜厚は、トラック幅方向の中心付近において80～300Å、例えば200Åである。

【0210】

ここで、第1の反強磁性層12及び第2の反強磁性層18を形成するための、前記PtMn合金及び前記X-Mnの式で示される合金において、PtあるいはXが37～63at%の範囲であることが好ましい。また、前記PtMn合金及び前記X-Mnの式で示される合金において、PtあるいはXが47～57at

%の範囲であることがより好ましい。特に規定しない限り、～で示す数値範囲の上限と下限は以下、以上を意味する。

【0211】

また、Pt-Mn-X'の式で示される合金において、X' + Ptが37～63at%の範囲であることが好ましい。また、前記Pt-Mn-X'の式で示される合金において、X' + Ptが47～57at%の範囲であることがより好ましい。さらに、前記Pt-Mn-X'の式で示される合金において、X'が0.2～10at%の範囲であることが好ましい。ただし、X'がPd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である場合には、X'は0.2～40at%の範囲であることが好ましい。

【0212】

第1の反強磁性層12及び第2の反強磁性層18として、これらの適切な組成範囲の合金を使用し、これを熱処理することにより、大きな交換結合磁界を発生する第1の反強磁性層及び第2の反強磁性層を得ることができる。特に、PtMn合金であれば、強磁性層との間に48kA/m以上、例えば64kA/mを越える交換結合磁界を有し、前記交換結合磁界を失うブロッキング温度が380°Cと極めて高い優れた第1の反強磁性層及び第2の反強磁性層を得ることができる。

【0213】

これらの合金は、成膜直後の状態では、不規則系の面心立方構造(fcc)であるが、熱処理によってCuAuI型の規則型の面心正方構造(fcc)に構造変態する。

【0214】

なお、本実施の形態の磁気検出素子は、第1の反強磁性層12と第2の反強磁性層18を同じ組成の反強磁性材料を用いて形成することができる。

【0215】

また、第2の反強磁性層18の上層にTaなどの非磁性材料からなる保護層を成膜してもよい。

【0216】

次に第2の反強磁性層18まで形成された多層膜を、第2の熱処理温度、X方向を向いた第2の大きさの磁界中で、第2の磁場中アニールにかけて、非磁性層30を介したRKKY相互作用によって第2の反強磁性層18と強磁性層17との間に交換異方性磁界を発生させ、強磁性層17の磁化方向を図示X方向に固定する。強磁性層17の磁化方向が図示X方向に固定されると、フリー磁性層15の磁化方向も非磁性中間層16を介した強磁性層17とのRKKY相互作用によって、図示X方向に固定される。本実施の形態では、前記第2の熱処理温度を250°C、磁界の第2の大きさを24k(A/m)としている。

【0217】

第2の反強磁性層18の交換異方性磁界は、第2の磁場中アニール工程において始めて生じる。従って、第1の反強磁性層12と第1の固定磁性層13aとの間の交換異方性磁界の方向を図示Y方向に向けたまま、非磁性層30を介した第2の反強磁性層18と強磁性層17との間の交換異方性磁界を図示X方向に向けたためには、前記第2の熱処理温度を、第1の反強磁性層12による交換結合磁界が消失するブロッキング温度より低い温度に設定し、前記第2の磁界の大きさを第1の反強磁性層12と第1の固定磁性層13aとの間の交換異方性磁界よりも小さくするだけでよい。また、第2の磁場中アニールをこれらの条件下で行えば、第1の反強磁性層12と第2の反強磁性層18を同じ組成の反強磁性材料を用いて形成しても、第1の反強磁性層12と第1の固定磁性層13aとの間の交換異方性磁界の方向を図示Y方向に向けたまま、第2の反強磁性層18と強磁性層17との間の交換異方性磁界を図示X方向に向けることができる。すなわち、フリー磁性層15の磁化方向を、固定磁性層13の磁化方向と直交する方向に固定することが容易になる。

【0218】

次に、第2の反強磁性層18上にレジストを積層し、第2の反強磁性層18上をトラック幅Twの間隔を開けてマスキングする。第2の反強磁性層18の前記レジストによってマスクされない部分を、イオンミリングまたは反応性イオンエッティング(RIE)などによって、基板11の表面11aに対する垂直方向、すなわちトラック幅方向に対する垂直方向に削り込むことにより凹部41を形成す

る。凹部41の側面41a, 41aは、トラック幅方向に対して垂直になっている。凹部41の底面41bが非磁性中間層16内に位置するように、凹部41を形成する。

【0219】

すなわち、強磁性層17の磁化方向は、凹部41の底面41bに重なる領域以外のトラック幅方向両端部D, Dでのみ、確実に第2の反強磁性層18及び他の反強磁性層31との交換結合によって固定される。従って、強磁性層17の下層に非磁性中間層16を介して積層されているフリー磁性層15の磁化方向も、トラック幅方向両端部D, Dでのみ確実に強磁性層17とのRKKY相互作用により固定される。

【0220】

凹部41の底面41bに重なるフリー磁性層15の領域Eは、外部磁界が印加されない状態において、磁化方向が固定された両端部D, Dにならって図示X方向に揃えられ、外部磁界が印加されるとその磁化方向が変化する。

【0221】

従って、磁気検出素子のトラック幅は、前記凹部の幅寸法Twによって決定される。上述したように、本発明では、凹部41は一様の厚さで成膜された第2の反強磁性層42を、反応性イオンエッティング(RIE) やイオンミリングを用いて、基板11の表面11aに対する垂直方向に削るだけで形成することができる。正確な幅寸法Twで凹部41を形成することが可能になる。すなわち、磁気検出素子のトラック幅Twを正確に規定できる。

【0222】

凹部41の形成後、凹部41の幅寸法(=トラック幅Tw)より広い幅寸法の領域を覆うリフトオフ用のレジストを第2の反強磁性層18上に形成し、第2の反強磁性層18上であって、前記リフトオフ用のレジストによって覆われていない領域に電極層19, 19をスパッタ法や蒸着法によって成膜する。電極層19, 19は、例えば、Au、W、Cr、Taなどを用いて成膜される。電極層19, 19の成膜後、前記レジスト層を除去して磁気検出素子を得る。

【0223】

本製造方法によって製造された磁気検出素子は電極層19, 19と凹部41との間にトラック幅方向の段差ができる。なお、第2の反強磁性層18上に前述したTa, Crなどからなる保護層を介して電極層19, 19が積層されてもよい。このとき前記保護層は電極下地層として機能する。

【0224】

なお、上記説明では第2の反強磁性層18の上層に前記レジストを積層して、第2の反強磁性層18に凹部を形成した後、第2の反強磁性層18の上層に電極層19, 19を積層したが、第2の反強磁性層18の上層に電極層19を成膜した後、電極層19をマスクとして第2の反強磁性層18に凹部を形成すると、図6に示されるような電極層19の傾斜面19aと凹部41の側面41aが連続面となる磁気検出素子が得られる。

【0225】

また、前記第2の磁場中アニールは、第2の反強磁性層18に凹部41を形成した後行ってもよい。

【0226】

また、本実施の形態では、基板11上に直接第1の反強磁性層12が積層されているが、基板11上にアルミナ層及びTa等からなる下地層を介して反強磁性層12が積層されてもよい。

【0227】

また図7に示される磁気検出素子のように電極層50, 50が第1の反強磁性層12から第2の反強磁性層18まで積層された積層体の両側端部に接続されてもよい。

【0228】

本実施の形態の磁気検出素子は、非磁性材料層14やフリー磁性層15に比べて抵抗値の高い第2の反強磁性層18を介さずに、電極層50, 50から非磁性材料層14及びフリー磁性層15付近にセンス電流を与える割合を向上させることができる。また、磁気抵抗変化率に寄与する前記積層体と電極層50, 50との間の接続抵抗を低減させることができ、スピナーバルブ型磁気検出素子の磁気抵抗変化率($\Delta R/R$)を大きくさせることができる。

【0229】

また、フリー磁性層15の単磁区化を保った状態で電極層50, 50からフリー磁性層15付近に直接センス電流を与えることができるため、サイドリーディングを防止することができ、一層の高記録密度化に対応することができる。

【0230】

なお、一対の電極層50, 50は、少なくともフリー磁性層15、非磁性材料層14、固定磁性層13の膜面方向両側に配置されるものであってもよい。

【0231】

なお、上述した実施の形態の磁気検出素子磁気検出素子において、固定磁性層13が単層の強磁性材料層として形成されてもよい。

【0232】

図1から図7に示された磁気検出素子を用いて磁気ヘッドを構成するときには、基板11と第1の反強磁性層12の間に、アルミナなどの絶縁性材料からなる下地層、この下地層上に積層される磁性合金からなる下部シールド層、及びこの下部シールド上に積層される絶縁性材料からなる下部ギャップ層が形成される。磁気検出素子は前記下部ギャップ層上に積層される。また、この磁気検出素子上には、絶縁性材料からなる上部ギャップ層、及びこの上部ギャップ層上に積層される磁性合金からなる上部シールド層が形成される。また、前記上部シールド層上に書き込み用のインダクティブ素子が積層されてもよい。

【0233】

【発明の効果】

以上詳細に説明した本発明によれば、前記第2の反強磁性層及び前記強磁性層を貫通し、底面が前記非磁性中間層内に設けられ、この底面のトラック幅方向の幅寸法がトラック幅寸法に等しい凹部が形成されており、トラック幅が前記凹部の底面のトラック幅方向の幅寸法によって決定される。すなわち、前記凹部の底面に重なる部分でのみ、前記フリー磁性層などの外部磁界によって磁化方向が変化するフリー磁性層の磁化方向を変化させることができる。

【0234】

従って、トラック幅Twから外れた領域で記録信号を読み取ってしまうサイド

リーディングを防止することができる。

【0235】

また、前記多層膜の形成時に設定されたトラック幅（光学的トラック幅） T_w の領域が、実質的に記録磁界の再生に寄与し、磁気抵抗効果を発揮する感度領域となる。すなわち、本発明の磁気検出素子は、磁気検出素子の光学的トラック幅が磁気的トラック幅に等しくなり、不感領域が生じないので、高記録密度化に対応するために磁気検出素子の光学的トラック幅 T_w を小さくしていった場合の再生出力の低下を抑えることができる。

【0236】

しかも、前記凹部は、一様の厚さで成膜された前記第2の反強磁性層を、反応性イオンエッティング（R I E）やイオンミリングを用いて、トラック幅方向に対する垂直方向に削るだけで形成することができるので、正確な幅寸法で前記凹部を形成することが可能になる。すなわち、磁気検出素子のトラック幅を正確に規定できる。

【0237】

また、本発明では、前記凹部の底面が前記非磁性中間層内に位置しているので、前記第2の反強磁性層の下層にある強磁性層が、前記第2の反強磁性層との磁気的結合によって磁化方向がそろえられ、さらに、この強磁性層の下層に非磁性中間層を介して形成されたフリー磁性層が、前記強磁性層とのR K K Y相互作用によって磁化方向が、前記固定磁性層の磁化方向と交叉する方向に、揃えられる。すなわち、前記第2の反強磁性層の下層において前記強磁性層、前記非磁性中間層、及び前記フリー磁性層がシンセティックフェリ構造となっており、前記フリー磁性層の磁化方向を一定方向に揃えることが容易になっている。従って、前記第2の反強磁性層と前記強磁性層との交換結合磁界が比較的弱くても、前記フリー磁性層の磁化方向を確実に、前記固定磁性層の磁化方向と交叉する方向に揃えることが容易になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施の形態の磁気検出素子の断面図、

【図2】 本発明の第2の実施の形態の磁気検出素子の断面図、

【図3】 本発明の第3の実施の形態の磁気検出素子の断面図、
【図4】 本発明の第4の実施の形態の磁気検出素子の断面図、
【図5】 本発明の第5の実施の形態の磁気検出素子の断面図、
【図6】 本発明の第6の実施の形態の磁気検出素子の断面図、
【図7】 本発明の第7の実施の形態の磁気検出素子の断面図、
【図8】 バックド層によるスピンドル効果を説明するための様式説明図、

【図9】 バックド層によるスピンドル効果を説明するための様式説明図、

【図10】 従来の磁気検出素子の断面図、

【図11】 従来の磁気検出素子の製造工程を示す一工程図、

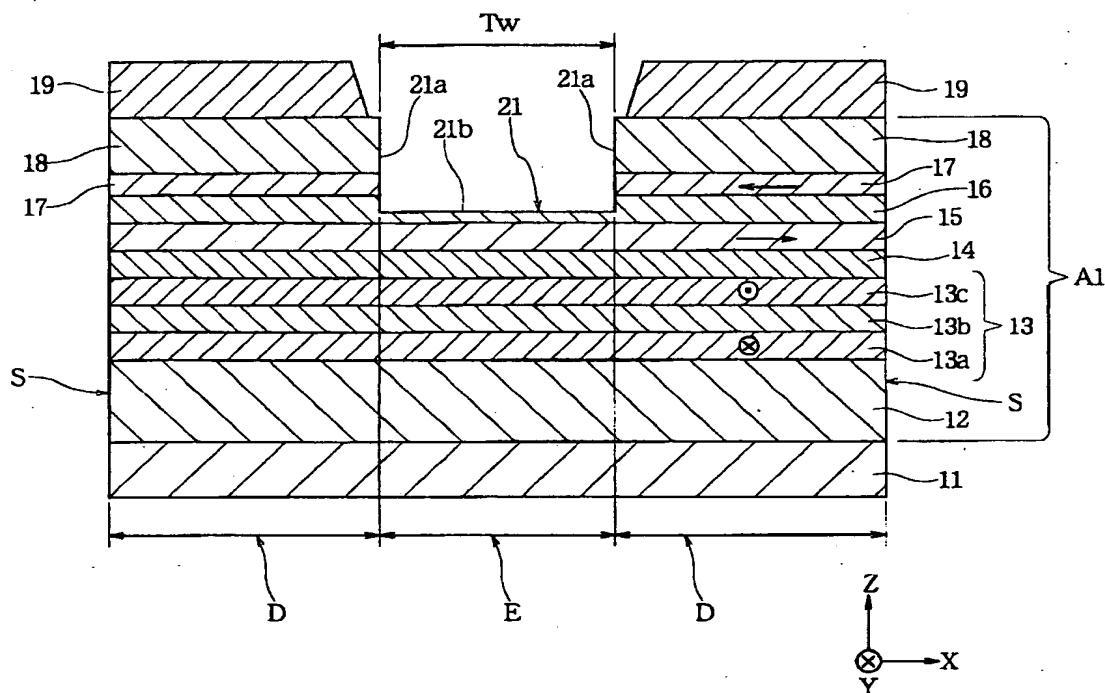
【符号の説明】

- 1 1 基板
- 1 2 第1の反強磁性層
- 1 3 固定磁性層
 - 1 3 a 第1の固定磁性層
 - 1 3 b 非磁性中間層
 - 1 3 c 第2の固定磁性層
- 1 4 非磁性材料層
- 1 5 フリー磁性層
- 1 6 非磁性中間層
- 1 7 強磁性層
- 1 8 第2の反強磁性層
- 1 9 電極層

【書類名】 図面

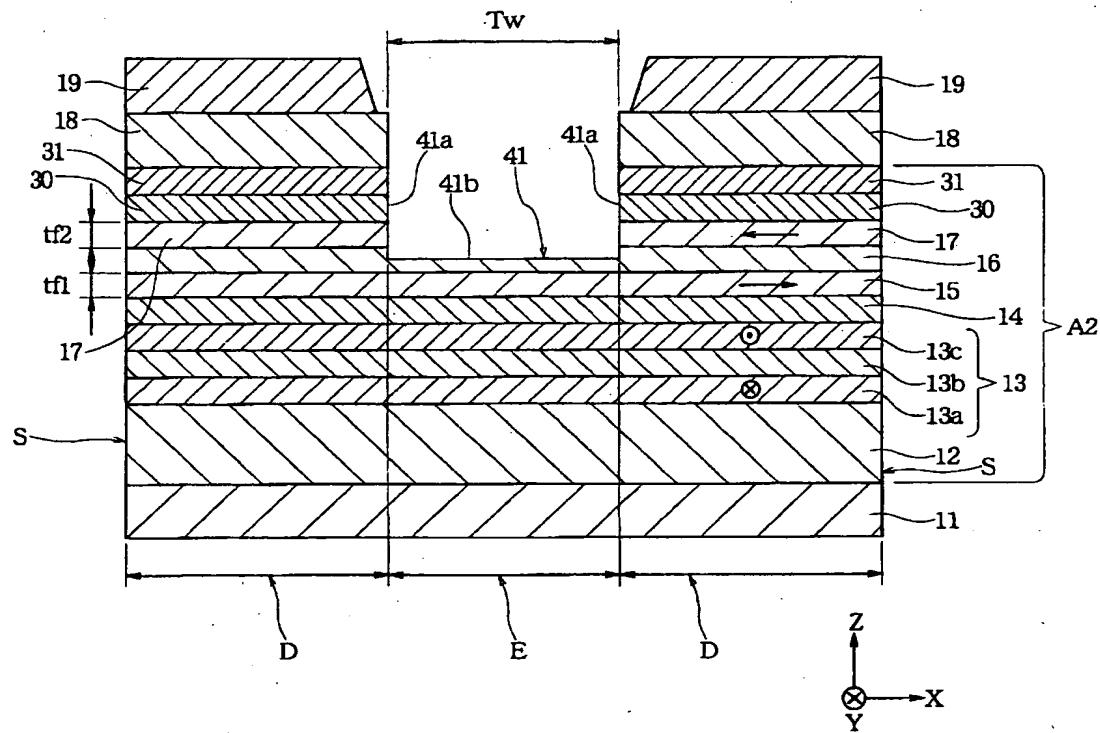
【図1】

図1



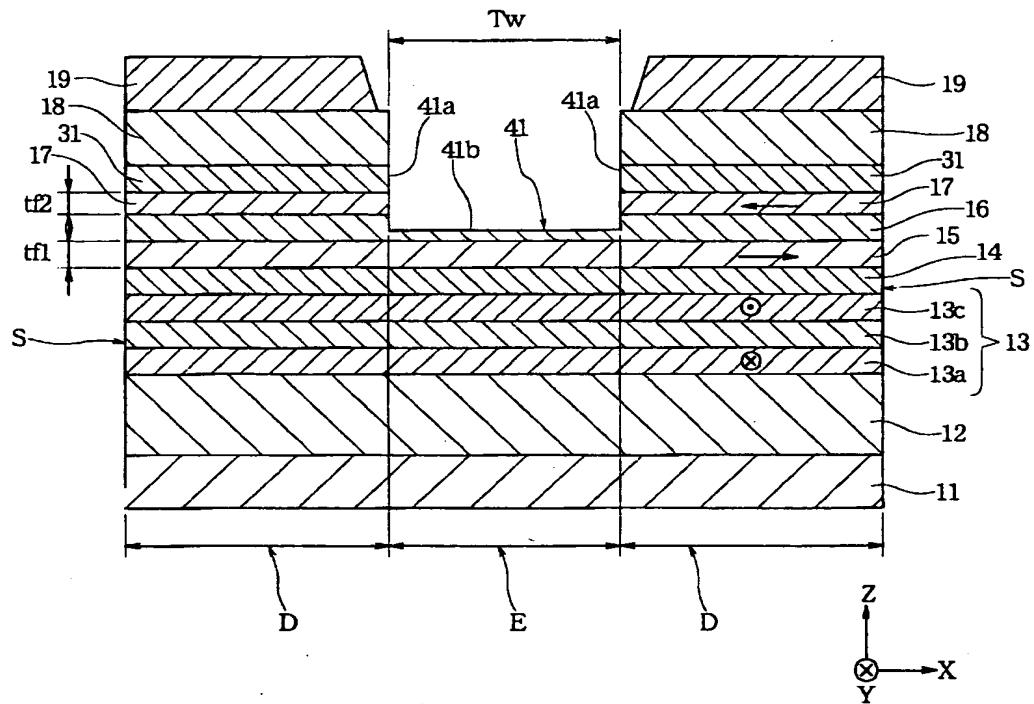
【図2】

図2



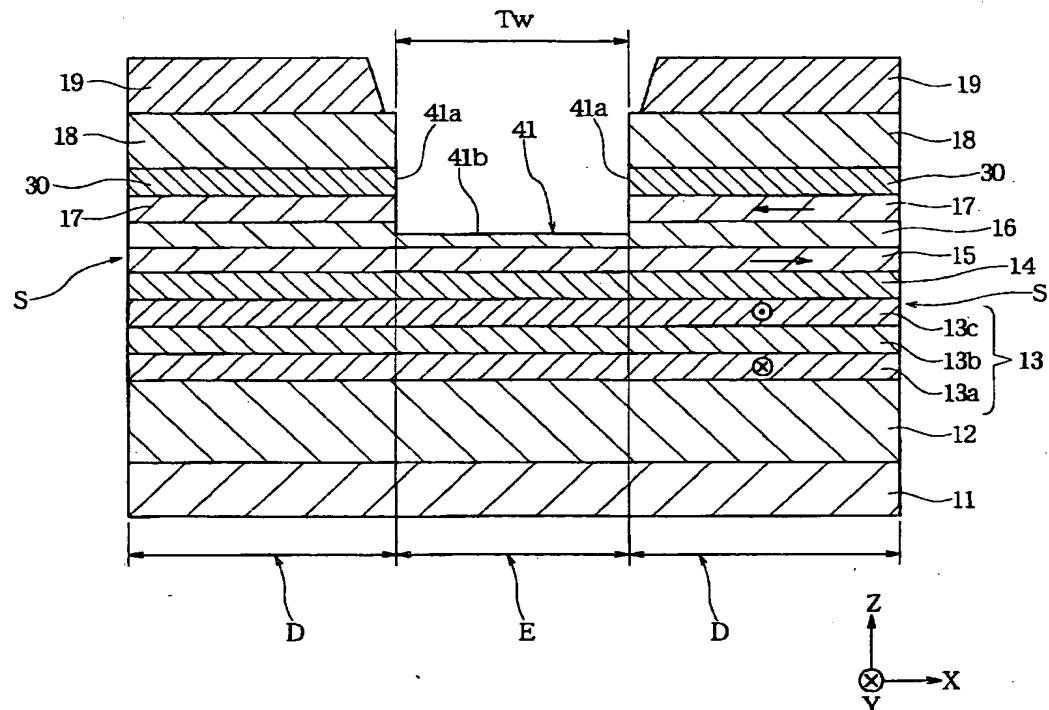
【図3】

図3



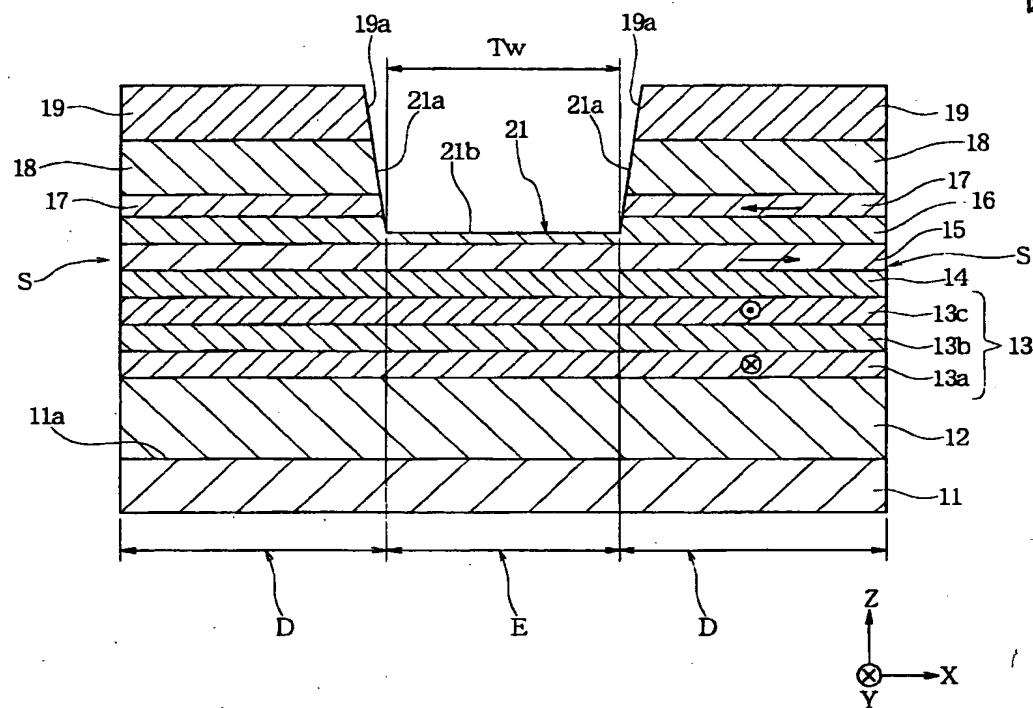
【図4】

図4



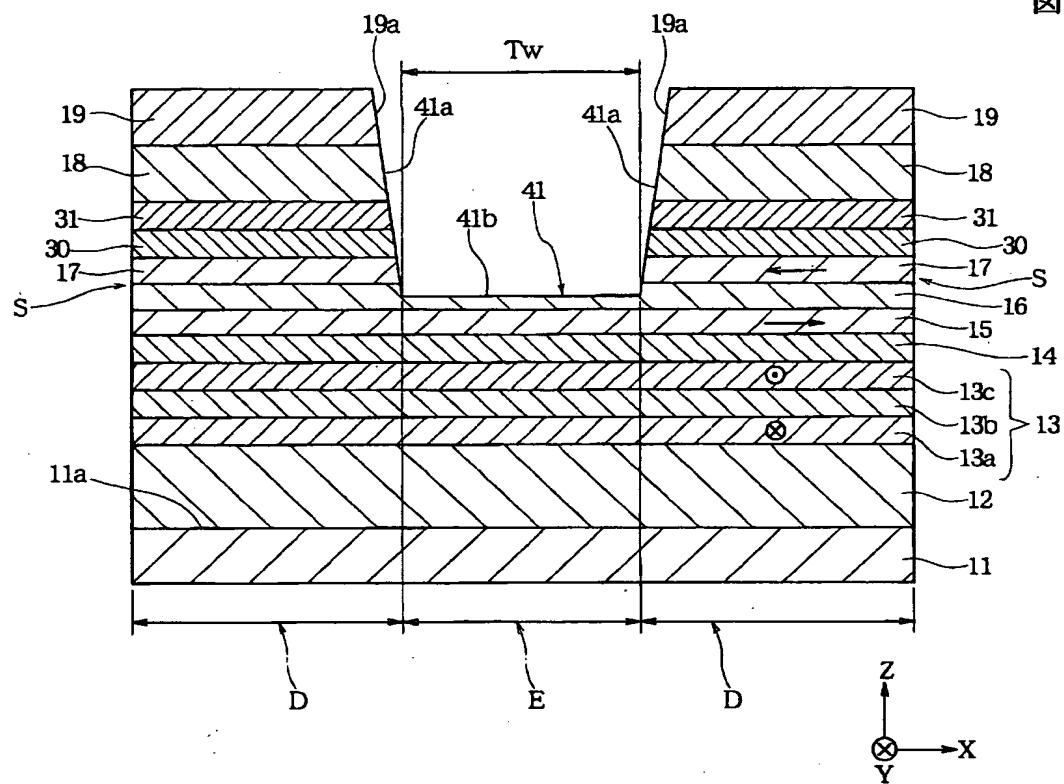
【図5】

図5



【図6】

図6



【図7】

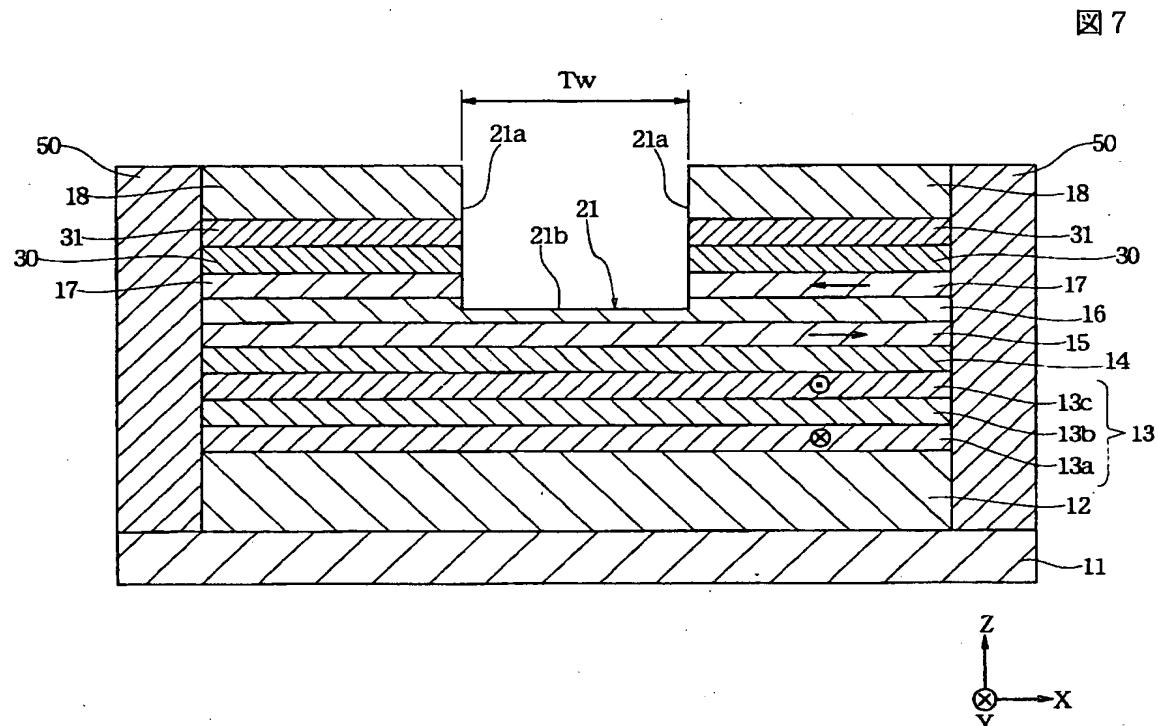
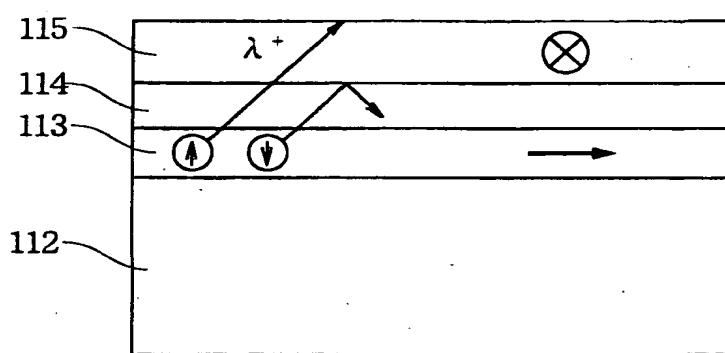


図7

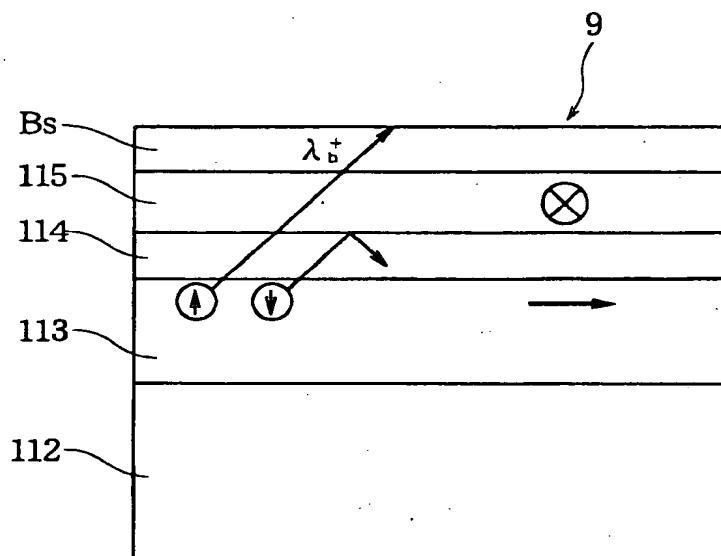
【図8】

図8



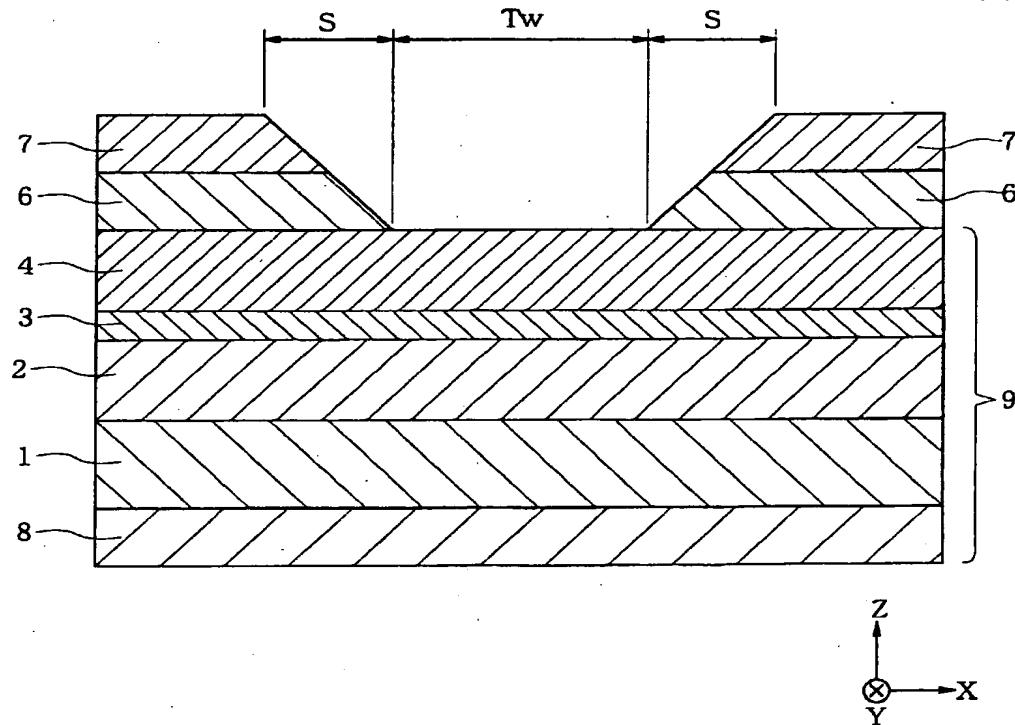
【図9】

図9



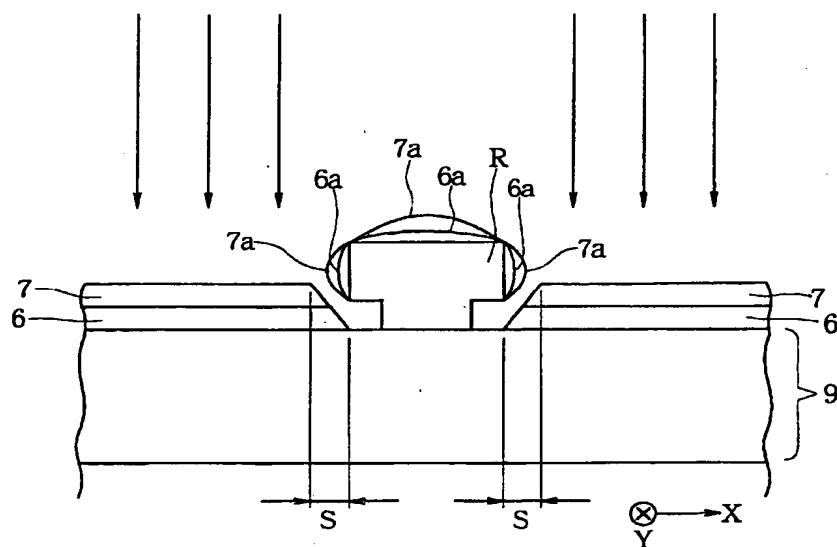
【図10】

図10



【図11】

図11



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 縦バイアス磁界をエクスチェンジバイアス層によって供給する従来の磁気検出素子では、トラック幅領域の周辺部でサイドリーディングが発生していた。

【解決手段】 第2の反強磁性層18を貫通し、底面が非磁性中間層16内に設けられ、この底面のトラック幅方向の幅寸法がトラック幅寸法に等しい凹部21を形成する。

凹部21の底面21bに重なる部分でのみ、フリー磁性層15の磁化方向を変化させることができる。

【選択図】 図1

出願人履歴情報

識別番号 [000010098]

1. 変更年月日 1990年 8月27日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都大田区雪谷大塚町1番7号

氏 名 アルプス電気株式会社